



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO
PARA CONTROL DE LAZOS ABIERTOS Y CERRADOS
UTILIZANDO LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE
MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.”**

PINEDA ROSERO KENNYA SILVANA

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Julio, 30 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

KENNYA SILVANA PINEDA ROSERO

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA
CONTROL DE LAZOS ABIERTOS Y CERRADOS UTILIZANDO LABVIEW
PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Montalvo
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marco Haro
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Kennya Silvana Pineda Rosero

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA CONTROL DE LAZOS ABIERTOS Y CERRADOS UTILIZANDO LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.”

Fecha de Examinación: 30 de Julio de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Hernán Samaniego (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Pablo Montalvo (DIRECTOR DE TESIS)			
Dr. Marco Haro (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Hernán Samaniego.
Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de la autora. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Kennya Silvana Pineda Rosero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a quienes directa o indirectamente, participaron leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo y de forma muy especial a mi director Ingeniero Pablo Montalvo y asesor Doctor Marco Haro.

Kennya Silvana Pineda Rosero

DEDICATORIA

Ha sido el creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de claudicar he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico mi trabajo a Dios.

Kenny Silvana Pineda Rosero

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general.	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Módulo de entrenamiento.....	3
2.1.1 Especificaciones generales	4
2.1.2 Diagrama esquemático y conexiones básica..	5
2.2 Características del módulo de entrenamiento.....	6
2.2.1 Control de velocidad de motor dc.	6
2.2.2 Control de temperatura.....	6
2.2.3 Control de movimiento.....	7
2.2.4 Características adicionales.	7
2.3 Sistema de control	7
2.3.1 Definiciones básicas	9
2.3.2 Sistemas de control en lazo abierto y cerrado... ..	10
2.3.2.1 Elementos de un lazo de control	10
2.3.2.2 Sistemas de control en lazo abierto.....	11
2.3.2.3 Sistemas de control en lazo cerrado	13
2.3.3 Funciones de un lazo de control	14
2.3.4 Ventaja del control en lazo cerrado frente al control en lazo abierto.....	15
2.4 Labview	16
2.4.1 Principales usos.....	16
2.4.2 Principales características.	17
2.4.3 Programa en labview.....	17
2.4.3.1 Panel frontal	17
2.4.3.2 Diagrama de bloques.....	18

2.4.4	Categorías de análisis.....	20
2.4.4.1	Procesamiento de señal	20
2.4.4.2	Medición.....	20
2.4.4.3	Matemática.....	20
2.4.4.4	Procesamiento de imágenes.	20
2.4.5	Control PID.	20
2.4.6	Tipos de datos en LabVIEW	23
2.5	Sensores.....	24
2.5.1	Características de un sensor	25
2.5.2	Resolución y precisión	27
2.5.3	Clasificación de los sensores.....	27
2.5.3.1	Atendiendo al tipo de señal de entrada.....	27
2.5.3.2	Atendiendo al tipo de señal entregada por el sensor.	28
2.5.3.3	Atendiendo a la naturaleza de la señal eléctrica generada	28
2.6	Adquisición de datos	28
2.6.1	DAQ usb 6008.....	30
2.7	Control y monitoreo de datos	32
3.	PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO	
3.1	El EPC	34
3.2	Parámetros de funcionamiento del EPC.....	34
3.2.1	Medición y control de temperatura.	35
3.2.2	Medición y control de velocidad.....	35
3.2.3	Control de posición.	36
3.2.4	Análisis de sonido	36
3.2.5	Relé de propósito general.....	37
3.3	Programación del módulo de entrenamiento.....	38
3.3.1	Entorno de programación.	38
3.3.2	Instalación del software LabVIEW.....	38
3.3.4	Programación de control de temperatura PID.....	41
3.3.5	Programación control pid de velocidad de motor dc.....	43
3.3.6	Programación de control de posición.....	46
3.4	Seguridad y mantenimiento del equipo.....	49

4. MANUAL Y GUÍA DE PRÁCTICAS

4.1	Qué se necesita para empezar.....	51
4.1.1	Requerimientos de hardware.....	51
4.1.2	Requerimientos de software.....	51
4.2	Prácticas de laboratorio	52
4.2.1	Practica 1	52
4.2.2	Practica 2	58
4.2.3	Practica 3	67

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	71
5.2	Recomendaciones.....	71

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LIKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Especificaciones generales del EPC..... 4
2	Atajos de teclado más útiles de LabVIEW..... 19
3	Otros tipos de datos o en LabVIEW..... 23
4	Tipos de datos en LabVIEW..... 24
5	Asignación de terminales análogos 31
6	Asignación de terminales digitales..... 32
7	Método de sintonía de Ziegler-Nichols 65
8	Valores experimentales 65
9	Resultados ganancias PID 65

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Entrenador de planta de control.....	3
2	Diagrama esquemático del EPC.	5
3	Esquema general de un sistema	7
4	Representación de un sistema mediante bloque.	9
5	Esquema general de un sistema de control	11
6	Esquema general de control de lazo abierto	12
7	Proceso de lavado control de lazo abierto	13
8	Esquema general de control de lazo cerrado	13
9	Esquema general de control retroalimentado	14
10	Elementos de un lazo de control.....	15
11	Señal inestable del sistema	15
12	LabVIEW.....	16
13	Panel frontal.....	18
14	Diagrama de bloques	18
15	Paleta de herramientas	19
16	Esquema básico control PID.....	20
17	Gráfica de las acciones del control PID.....	21
18	Adquisición de datos análogos	29
19	DAQ usb 6008	31
20	Relé de propósito general.....	37
21	Interfaz DAQ usb 6008 y pc.....	38
22	Interfaz DAQ -pc (paso 1)	39
23	Interfaz DAQ -pc (paso 2)	40
24	Interfaz DAQ -pc (paso 3)	40
25	Interfaz DAQ -pc (paso 4)	41
26	Indicador de temperatura y setpoint	41
27	Control booleano e indicador	42
28	Control de ganancias PID	42
29	Panel frontal de temperatura PID	42
30	Diagrama de bloques de temperatura PID	43

31	Control setpoint	43
32	Indicador de velocidad.....	44
33	Indicador de voltaje DAQ.....	44
34	Indicador grafico.....	45
35	Control de ganancias PID	45
36	Botón stop.....	45
37	Panel frontal de PIDde velocidad	46
38	Diagrama de bloques de PID de velocidad.....	46
39	Control de posición.....	47
40	Control numérico de tiempo	47
41	Indicador numérico de posición actual	47
42	Botón stop.....	47
43	Panel frontal de control de posición	48
44	Diagrama de bloques de control de posición.....	48
45	Conexión de EPC a la tarjeta DAQ	53
46	Panel frontal control de temperatura PID	54
47	Ganancias PID	54
48	Temperatura vs tiempo	55
49	Ganancias PID	56
50	Temperatura vs tiempo	56
51	Ganancias PID	57
52	Temperatura vs tiempo	57
53	Conexión de EPC a la tarjeta DAQ	59
54	Control pid velocidad	59
55	Velocidad vs tiempo	60
56	Velocidad vs tiempo	61
57	Velocidad vs tiempo	61
58	Velocidad vs tiempo	62
59	Velocidad vs tiempo	62
60	Velocidad vs tiempo	63
61	Velocidad vs tiempo	63
62	Velocidad vs tiempo	64
63	Velocidad vs tiempo	65
64	Velocidad vs tiempo	66

65	Velocidad vs tiempo	66
66	Diagrama de bloques de control de velocidad PID	67
67	Conexión de EPC a la tarjeta DAQ	69
68	Panel frontal de el programa control posición.....	69

LISTA DE ABREVIACIONES

AC/DC	Corriente Alterna / Corriente Continua
A/D	Análogo/Digital
DAQ	La Adquisición De Datos O Adquisición De Señales
DLL	Dynamic Linking Library
DSA	Análisis Dinámico De Señales
DTMF	Doble Tono Multifrecuencia
EPC	Entrenador de Planta de Control
FPGAS	Arreglo De Compuerta Programable En Campo
HIL	Hardware In The Loop
LED	Light-Emitting Diode
PAC	Controlador De Automatización Programable
PH	Potencial De Hidrógeno
PID	Proporcional Integral Derivativo
PWM	Modulación De Ancho De Pulso
SAW	Surface Acoustic Wave
TCP/IP	Transmission Control Protocol
TTL	Lógica Transistor A Transistor
UDP	Protocolo De Datagrama De Usuario
VI	Instrumento Virtual

LISTA DE ANEXOS

- A Instalación del software LabVIEW
- B Especificaciones Mínimas Del Sistema DAQ

RESUMEN

Se realizó la Implementación de un Módulo de Entrenamiento para Control de Lazos Abiertos y Cerrados utilizando LabVIEW para el laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica, con la finalidad de que los estudiantes puedan realizar prácticas y acrecentar su aprendizaje, incrementar la productividad y desarrollar su creatividad.

El Entrenador de Planta de Control “EPC” es una placa electrónica que incluye varios sensores y actuadores típicos en los sistemas de instrumentación y control tales como temperatura, velocidad, posición, señales analógicas de corriente continua, alterna, digital, y tren de pulsos.

El EPC es una herramienta diseñada para maximizar el aprendizaje de LabVIEW y adquisición de datos al proporcionar plantas físicas reales que funcionan con señales típicas. Los programas que se realizaron fueron: una Medición y control de Temperatura, en esta práctica se mejorara el control de temperatura utilizando un controlador PID, también se diseño una Medición y Control de Velocidad y además se realizo un Control de posición para lo cual se utiliza un control numérico para especificar la posición angular a la que debe apuntar el disco del Stepper. Estos programas se presentan con el código abierto de forma que puedan ser utilizados como base para programas más complicados, o como casos de estudio.

Con la implementación de este módulo se pretende que el futuro Ingeniero de Mantenimiento, mejore sus destrezas y por lo tanto facilitar el aprendizaje de conceptos de teoría de control e instrumentación al poner a disposición del usuario varios experimentos prácticos listos para usar. De esta forma se minimiza el tiempo de diseño y construcción electrónico, se asegura la compatibilidad de los sensores con los experimentos, y se obtiene una experiencia de primera mano con las características y problemas de los sistemas físicos reales tales como ruido, precisión, acoplamiento AC/DC, etc. en lugar de usar simulaciones por computadora.

ABSTRACT

This research work shows the Implementation of a Training Module for Open and Closed Loop Control by using LabVIEW for the Mechatronics Laboratory of the Mechanics Faculty. The objective is that students be able to practice there, improve their learning process and productivity, and develop their creativity.

The Control Plant Trainer (EPC, acronym in Spanish) is an electronic card that includes various sensors and typical actuators in the control and instrumentation systems such as temperature, speed, position, direct current analog signals, alternate current, digital and pulse train.

The Control Plant Trainer is a tool designed to maximize LabVIEW learning and data acquisition providing real physical plants which work with typical signals. The conducted programs were: Temperature Measurement and Control in which the temperature control was improved by using a Proportional Integral Derivative (PID) controller; a speed measurement and control was designed, and also a Position Control was made by using a numerical control to specify angular position where the Stepper disc must point. These programs present an open code so that they can be used as a start for more complicated programs or for case studies.

With this module implementation the future Maintenance Engineer will improve his/her skills and will make the instrumentation and control theory concepts learning process easy offering the user various practical ready-to-use experiments. This way, electronic designing and construction time will be minimized; sensor-experiment compatibility will be ensured; and it becomes possible to get a first-hand experience with the features and problems of real physical systems such as noise, precision AC / DC coupling, etc. instead of using computer simulations.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los diferentes laboratorios con los que cuenta la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica, han sido el principal complemento para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico.

Hoy por hoy se pretende contar con un laboratorio lo suficientemente equipado para así formar un profesional capaz de aprovechar los desarrollos tecnológicos en el campo de la automatización, con el propósito de adecuarlos al medio y de generar innovaciones que mejoren los existentes.

Por lo ya expuesto en el Laboratorio Mecatrónica se va a implementar módulos de entrenamiento los mismos que serán utilizados por los estudiantes para realizar prácticas y acrecentar sus aprendizajes, incrementar la productividad y desarrollar su creatividad.

1.2 Justificación

La aplicación práctica de los procesos automatizados en la industria ayuda al estudiante a que genere una investigación continua, ya que la tecnología avanza día a día y aparecen nuevas técnicas que mejoran la productividad.

Mediante la automatización industrial se podrá optimizar recursos, disminuyendo costos necesarios de la planta como: seguridad, aumentando ingresos y mejorando la estabilidad laboral del operador.

La herramienta utilizada en el presente trabajo será de gran utilidad para el estudiante en la que aprenderá el funcionamiento del dispositivo, su programación y su aplicación al proceso industrial con su debida ejecución.

El módulo se implementará en el Laboratorio de Mecatrónica de la Escuela de

Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica para que los estudiantes realicen sus prácticas, investigaciones y se familiaricen con ellos y así puedan aplicar en su vida profesional.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Implementar un módulo de entrenamiento para control de lazos abiertos y cerrados utilizando LabVIEW para el Laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Seleccionar los dispositivos necesarios para la construcción del módulo.

Establecer la colocación adecuada de los dispositivos en el módulo.

Efectuar la programación

Realizar ensayos y comprobar el buen funcionamiento del módulo.

Elaborar manual y guía de prácticas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Módulo de entrenamiento

Figura 1. Entrenador de planta de control



Fuente: Autor

El Entrenador de Planta de Control “EPC” es una placa electrónica que incluye varios sensores y actuadores típicos en los sistemas de instrumentación y control tales como temperatura, velocidad, posición, señales analógicas de corriente continua, alterna, digital, y tren de pulsos. [1]

El EPC está diseñado para conectar a un computador mediante una tarjeta de adquisición de datos DAQ de National Instruments.

El objetivo de este equipo es facilitar el aprendizaje de conceptos de teoría de control e instrumentación al poner a disposición del usuario varios experimentos prácticos listos para usar. De esta forma se minimiza el tiempo de diseño y construcción electrónico, se asegura la compatibilidad de los sensores con los experimentos, y se obtiene una

experiencia de primera mano con las características y problemas de los sistemas físicos reales tales como ruido, precisión, acoplamiento AC/DC, etc. en lugar de usar simulaciones por computadora. Además, habilita la metodología de Aprendizaje Activo (aprender por medio del desarrollo de proyectos prácticos) que aporta significativamente al aprendizaje que usando exclusivamente medios teóricos tales como libros de texto, dictados, y resolución de ejercicios.

Finalmente, el EPC es una herramienta diseñada para maximizar el aprendizaje de LabVIEW y adquisición de datos al proporcionar plantas físicas reales que funcionan con señales típicas.

2.1.1 Especificaciones generales

Tabla 1. Especificaciones generales del EPC.

Entradas Digitales Bombillo 1 Ventilador 1 Relé 1 Stepper 4 Total: 7 0-5 VDC Compatibles TTL	Entradas Analógicas Motor DC 1 Total: 1 Nivel 0-5 VDC Tasa Muestreo 40kS/s
Salidas de Tren de Pulsos Motor DC 1 Stepper 1 Total: 2 0-5 VDC compatibles TTL	Salidas Analógicas Temperatura 1 Micrófono 1 Total : 2 Nivel 0-5 VDC Consumo 5 mA
Relé Electromecánico Tipo SPDT Bobina 1 comandado TTL Común 1 Normalmente Abierto 1 Normalmente Cerrado 1 Voltaje de conmutación 120VAC, 48VDC Corriente de Conmutación 1A	

Fuente: EPC manual del usuario

Alimentación

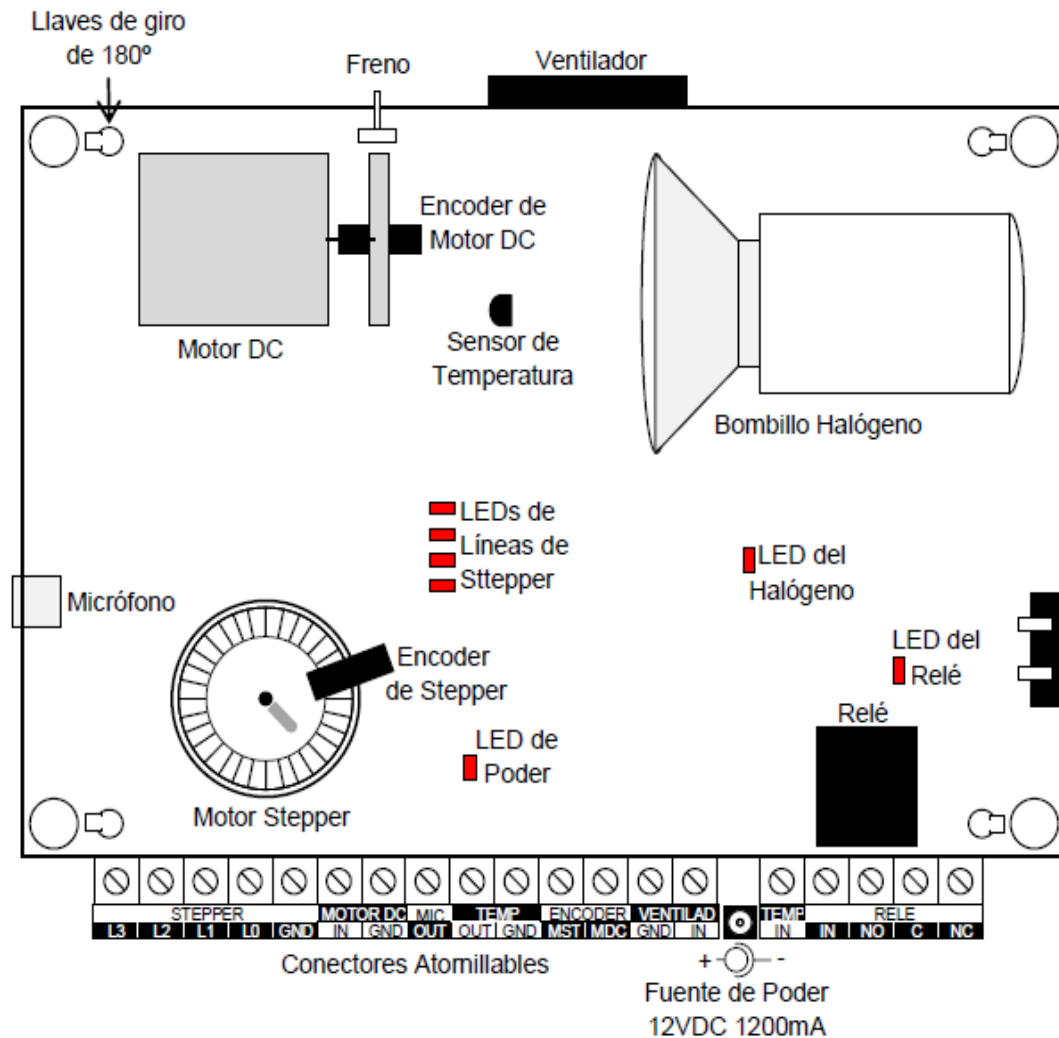
12 VDC, 1200 mA para alimentación del EPC, motores y componentes electrónicos.

120 VAC, 50 W para alimentación del bombillo dicroico.

Dimensiones Físicas: Ancho 19 cm x Alto 9,5 cm x Profundidad 13 cm

2.1.2 Diagrama esquemático y conexiones básica. A continuación se presenta un diagrama esquemático ubicando las partes principales del equipo.

Figura 2. Diagrama esquemático del EPC.



Fuente: EPC manual del usuario

El LED de poder se enciende cuando se conecta la Fuente de Poder de 12 VDC. La polarización está indicada en el diagrama esquemático (pin interno positivo, carcasa negativo).

El Halógeno funciona con lógica inversa; es decir, cuando se envía un FALSE a la línea de control del Halógeno TEMP IN, se enciende el LED de Halógeno. Si el cable de alimentación del Halógeno está conectado al Conector de 110/220 VAC, el Halógeno se

encenderá. El Relé funciona con lógica inversa; es decir, cuando se envía un FALSE a la línea del Relé, este conmutará el terminal común C con el terminal normalmente abierto NO (por sus siglas en inglés, Normally Open).

Las bobinas del Motor Stepper (Motor Paso a Paso) L0, L1, L2, L3 tienen lógica directa; es decir, cuando se envía una señal TRUE a una línea del Stepper, la bobina correspondiente se activa.

Si al conectar la tarjeta DAQ se enciende uno o más de los LEDs de Líneas del Stepper, desconecte inmediatamente la Fuente de Poder de 12VDC, envíe un FALSE a todas las líneas digitales de la tarjeta DAQ desde el utilitario de la tarjeta DAQ Measurement and Automation Explorer, (en este caso se asume que se han conectado las cuatro líneas del puerto P1 de la tarjeta DAQ a las líneas del Stepper).

El ventilador funciona con lógica inversa; es decir, cuando se envía una señal FALSE el ventilador se enciende.

2.2 Características del módulo de entrenamiento

2.2.1 Control de velocidad de motor dc.

- Voltaje de control de 0-5V de bajo consumo de corriente
- Salida: tren de pulsos TTL de 36 pulsos por revolución (no cuadratura, 1 canal)
- Software de caracterización de motor
- Software de control PID de velocidad
- Instrucciones para sintonización mediante segunda regla de Ziegler-Nichols

2.2.2 Control de temperatura.

- Bombillo Halógeno Dicroico de 110V 50W utilizado como fuente de calor
- Control de encendido del halógeno mediante señal TTL
- Salida de medición de temperatura: 0.1V/°C. LM35
- Software para control manual de encendido/apagado
- Software para control de temperatura PID basado en PWM de baja frecuencia

2.2.3 Control de movimiento.

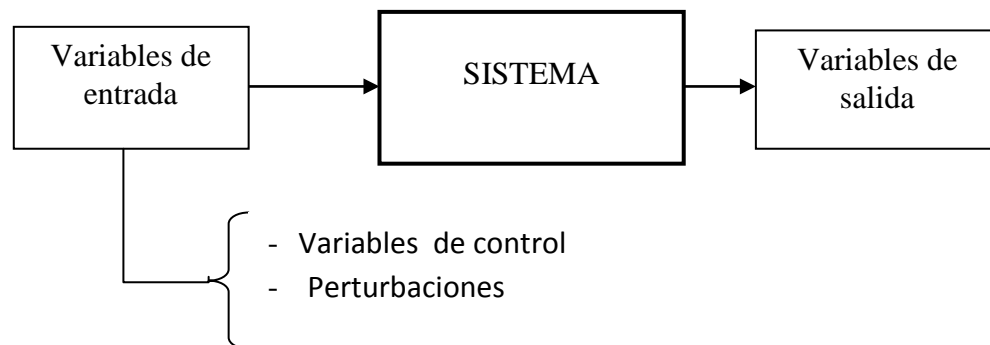
- Motor de pasos bipolar
- Control mediante 4 líneas digitales TTL
- Salida: tren de pulsos TTL de 36 pulsos por revolución.
- Software para control manual de posición.

2.2.4 Características adicionales.

- Micrófono y programas para análisis de frecuencia y detección DTMF.
- Relé electromecánico, control TTL, conmutación hasta 1A 220 VAC
- Caja plástica con tapa acrílica transparente desmontable con tornillos de media vuelta
- Bornera atornillable
- Alimentación: 12 VDC, consumo 1200 mA

2.3 Sistema de Control

Figura 3. Esquema general de un sistema



Fuente: <http://unavdocs.files.wordpress.com/2011/04/algosobrecontrol.pdf>

Un sistema se define como una combinación de componentes interconectados que forman un bloque coherente y cuya misión es cumplir un objetivo determinado. Un sistema de control consiste en un conjunto de aparatos coordinados de tal manera que proporcionen la respuesta deseada en un determinado proceso o planta, entendiendo por ambos cualquier operación que se quiera controlar. Por ejemplo, son plantas un puente grúa, un homo, una refinería o una nave espacial. La planta generalmente muestra las

propiedades inherentes que el diseñador de sistemas de control no puede alterar y se caracteriza por ser dinámica y continua. Por sistema dinámico se entiende aquel cuyas variables evolucionan con el tiempo.

El proceso mediante el cual un sistema se describe matemáticamente por una aplicación directa de leyes establecidas se conoce como modelado, y la elaboración de un modelo resulta necesaria para poder llevar a cabo el análisis o la síntesis de un sistema de control.

Dentro de un sistema de control concreto coexisten habitualmente distintos tipos de variables. Por un lado tenemos una o varias variables de entrada también llamadas excitaciones o consignas del sistema, que expresan el comportamiento que se desea conseguir a la salida. Por otra parte están presentes una o varias variables de salida, también llamadas respuestas.

Por último pueden existir perturbaciones que actúen sobre el sistema en forma de acciones incontroladas que pueden afectar al sistema en cualquier punto del mismo, y su efecto será generalmente una desviación sobre la respuesta deseada. Por ejemplo, un sistema puede ser el piloto automático de un avión, en cuyo caso, la entrada o consigna será el rumbo marcado por el piloto, la salida o respuesta del sistema será el rumbo real seguido por la aeronave y la perturbación será el viento incidente sobre el aparato.

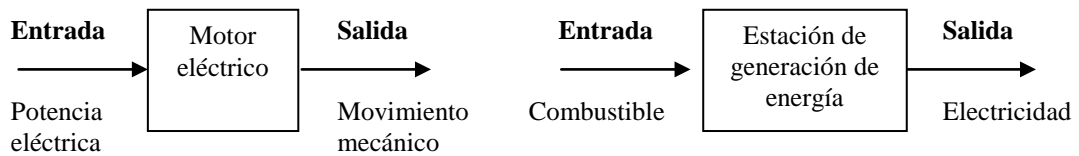
Por otra parte se debe distinguir también entre sistemas continuos y discretos, dado que la forma de abordar el estudio de cada uno de ellos es diferente, utilizando para ello herramientas matemáticas distintas.

En los sistemas continuos no se muestrea la señal de entrada ni la de salida, mientras que en los discretos si se realiza esta operación debido a la necesidad de trabajar con dispositivos basados en microprocesadores. [2]

Sistema. Se puede pensar en un “sistema” como una “caja negra” que tiene una entrada y una salida. Lo importante no es lo que tiene dentro, sino la relación entre la entrada y la salida. Un sistema puede ser una estación de generación de energía completa o quizá sólo un motor eléctrico.

Las figura siguiente muestra como representar un sistema mediante bloques con las entradas y las salidas indicadas por líneas con flechas.

Figura 4. Representación de un sistema mediante bloque.



Fuente: <http://unavdocs.files.wordpress.com/2011/04/algosobrecontrol.pdf>

La ventaja de estudiarlos de esta manera es que aunque exista una amplia variedad de sistemas posibles, la relación entre la salida y la entrada de muchos puede ser similar.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

2.3.1 Definiciones básicas

- *Variable de entrada:* es una variable del sistema tal que una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.
- *Variable de salida:* es una variable del sistema cuya magnitud o condición se mide.
- *Perturbación:* es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.
- *Planta:* equipo con el objetivo de realizar una operación o función determinada. Es cualquier equipo físico que se desea controlar (motor, horno, reactor, caldera, etc.)
- *Proceso:* cualquier serie de operaciones que se desea controlar con un fin determinado.

Realimentación: operación que, en presencia de perturbaciones, reduce la diferencia entre la salida y la entrada de referencia, utilizando la diferencia entre ambas como parámetro de control.

2.3.2 *Sistemas de control en lazo abierto y cerrado.* Existen dos formas básicas de sistemas de control, una es la denominada en lazo abierto y la otra en lazo cerrado.

Con un sistema en lazo abierto la entrada se elige en base en la experiencia que se tiene con dichos sistemas para producir el valor de salida requerido. Esta salida sin embargo, no se ve modificada por el cambio en las condiciones de operación externas (Ej.: calefactor eléctrico). Si se presentan cambios en las condiciones de operación (apertura de una ventana, para el ejemplo anterior), la temperatura cambiará debido a que no hay modo de que el calor de salida se ajuste para compensar dicha condición. Este es un típico ejemplo de un control a lazo abierto, en el que no existe información que se alimente de regreso (realimentación) al elemento calefactor para ajustarlo y mantener la temperatura constante.

Los sistemas que operan mediante mecanismos de temporización preestablecidos son sistemas en lazo abierto.

Con un sistema de control en lazo cerrado se tiene una señal de realimentación hacia la entrada desde la salida, la cual se utiliza para modificar la entrada de modo de que la salida se mantenga constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación.

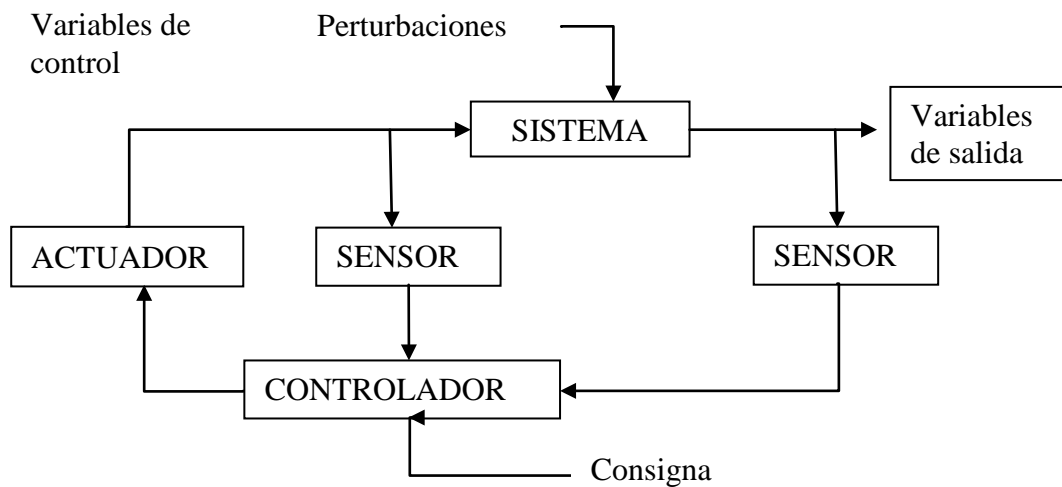
Los sistemas en lazo abierto tienen la ventaja de ser bastantes sencillos y en consecuencia de bajo costo, y con buena confiabilidad. Sin embargo, con frecuencia son inexactos, porque no hay corrección de errores.

Los sistemas en lazo cerrado tienen la ventaja de ser capaces de igualar los valores reales requeridos. No obstante, si existen retrasos en el sistema pueden surgir problemas. Dichos retrasos propician que la acción correctiva requerida llegue demasiado tarde, y como consecuencia, se obtienen oscilaciones en la entrada e inestabilidad.

Los sistemas en lazo cerrado son más complicados que aquellos en lazo abierto y más costosos con una gran posibilidad de descompostura debidas a la gran cantidad de componentes.

2.3.2.1 *Elementos de un lazo de control.* Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

Figura 5. Esquema general de un sistema de control



Fuente: http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

- Sistema a controlar
- Controlador
- Actuador (puede incluirse en el sistema a controlar)
- Medidor: sensor + transductor

Sensores: Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.

Actuador: Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

Controlador: Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.

2.3.2.2 *Sistemas de control en lazo abierto.* Aquellos en los que la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control).

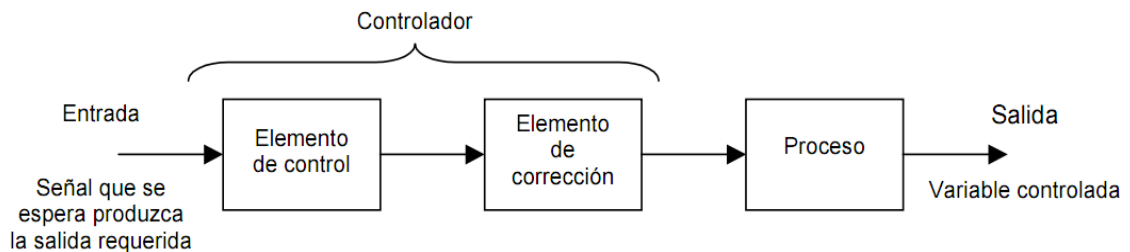
Los subsistemas son:

Elemento de Control: este elemento determina que acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control

Elemento de corrección: este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.

Proceso: el proceso, o planta, es el sistema en el que se va a controlar la variable.

Figura 6. Esquema general de control de lazo abierto



Fuente: <http://unavdocs.files.wordpress.com/2011/04/algosobrecontrol.pdf>

Características.

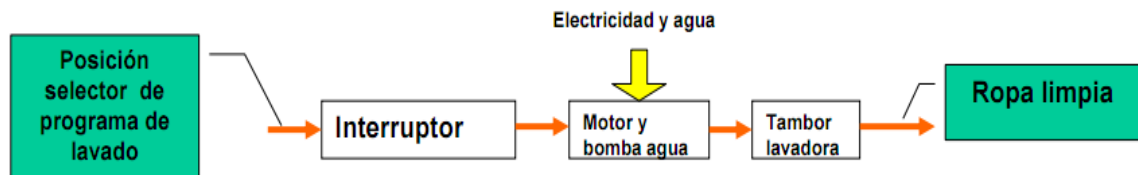
- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- No se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema.
- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.
- En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.

Ejemplo:

- El llenado de un tanque usando una manguera de jardín. Mientras que la llave siga abierta, el agua fluirá. La altura del agua en el tanque no puede hacer que la llave se cierre y por tanto no nos sirve para un proceso que necesite de un control de contenido o concentración.
- Al hacer una tostada, lo que hacemos es controlar el tiempo de tostado de ella misma entrando una variable (en este caso el grado de tostado que queremos). En definitiva, el que nosotros introducimos como parámetro es el tiempo.

- Lavadora:
- Funciona sobre una base de tiempos
- Variable de salida “limpieza de la ropa” no afecta al funcionamiento de la lavadora.

Figura 7. Proceso de lavado - control de lazo abierto

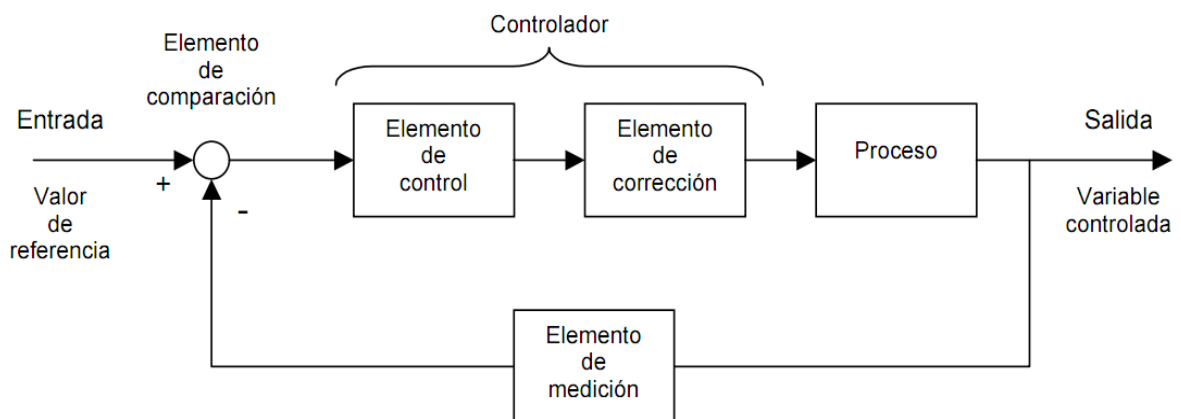


Fuente: Autor

- Semáforos de una ciudad
- Funcionan sobre una base de tiempo
- Variable de salida “estado del tráfico” no afecta el funcionamiento del sistema.

2.3.2.3 *Sistemas de control en lazo cerrado.* Aquellos en los que la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control).

Figura 8. Esquema general de control de lazo cerrado



Fuente: http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

Los subsistemas son:

1. Elemento de comparación: este elemento compara el valor de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y

produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido.

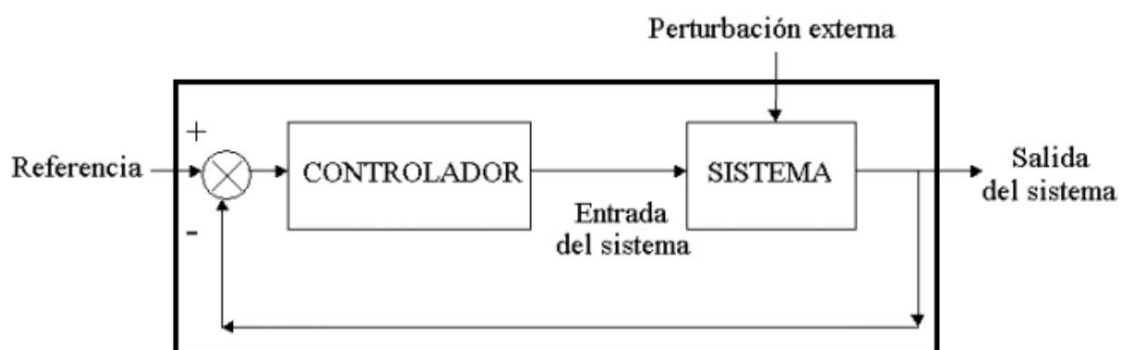
2. Elemento de control: este elemento decide que acción tomar cuando se recibe una señal de error. A menudo se utiliza el término controlador para un elemento que incorpora el elemento de control y la unidad de corrección.
3. Elemento de corrección: este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error, y con frecuencia se denomina actuador.
4. Proceso: El proceso, o planta es el sistema donde se va controlar la variable.
5. Elemento de medición: este elemento produce una señal relacionada con la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.

Una característica necesaria de un sistema de control en lazo cerrado es el lazo de realimentación. Este es el medio a través del cual una señal relacionada con la variable real obtenida se realimenta para compararse con la señal de referencia.

Se dice que se tiene realimentación negativa cuando: Señal de error es igual al valor de referencia menos señal de realimentación.

Definición: control retroalimentado. Operación que en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia. Esta reducción se logra manipulando alguna variable de entrada del sistema, siendo la magnitud de dicha variable de entrada función de la diferencia entre la variable de referencia y la salida del sistema. [3]

Figura 9. Esquema general de control retroalimentado



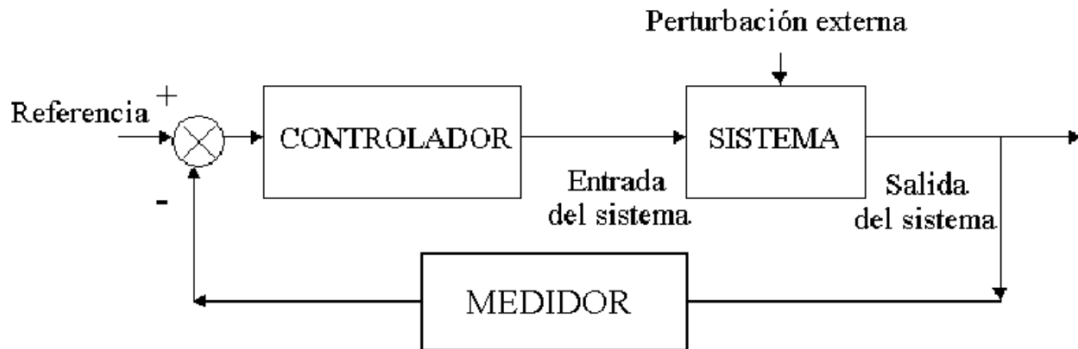
Fuente: http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

2.3.3 Funciones de un lazo de control

- Medir el valor de la variable controlada (medida y transmisión).

- Detectar el error y generar una acción de control (decisión).
- Usar la acción de control para manipular alguna variable en el proceso de modo que tienda a reducir el error (manipulación).

Figura 10. Elementos de un lazo de control

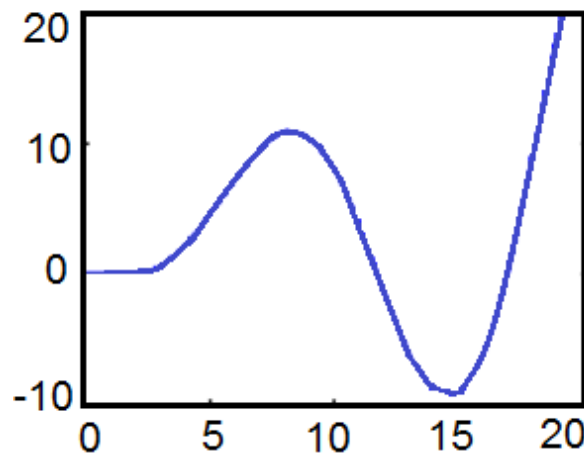


Fuente: http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

2.3.4 Ventaja del control en lazo cerrado frente al control en lazo abierto. Respuesta del sistema se hace relativamente insensible a perturbaciones externas y a variaciones internas de los parámetros del sistema.

2.3.5 Desventaja del control en lazo cerrado. Aparece el problema de la estabilidad, ya que si el controlador no está bien ajustado puede tener tendencia a sobre corregir errores, que pueden llegar a producir en la salida del sistema oscilaciones de amplitud creciente llegando a inestabilizar el sistema.

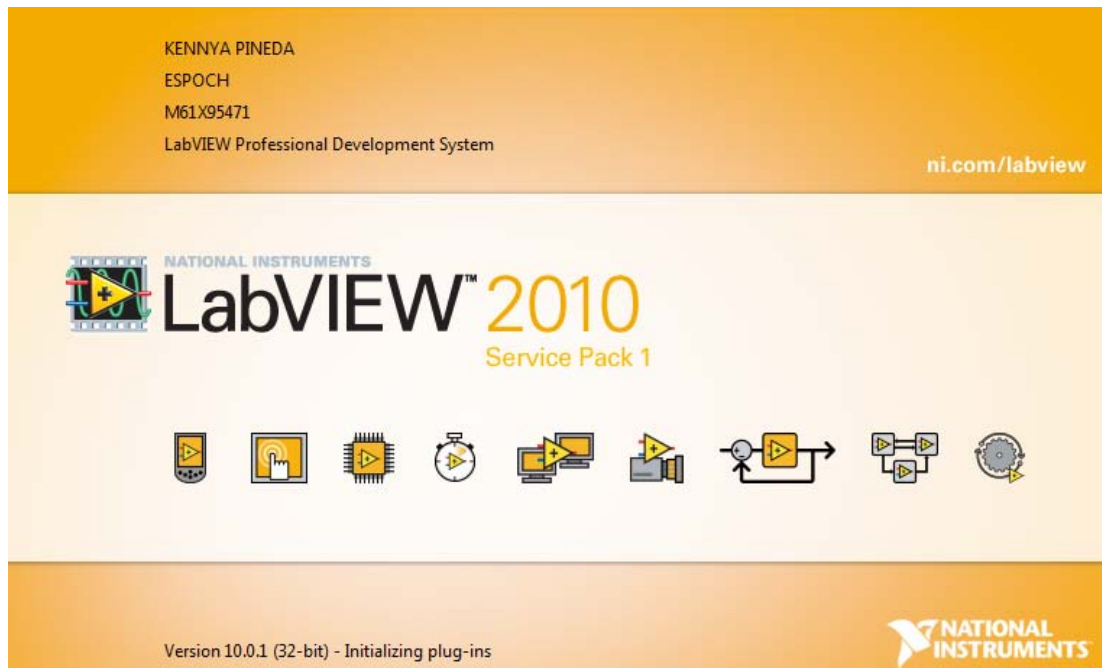
Figura 11. Señal inestable del sistema



Fuente: <http://www.isa.cie.uva.es>

2.4 LabVIEW

Figura 12. LabVIEW



Fuente: Autor

LabVIEW es un Lenguaje de Programación Gráfico, el cual usa íconos en vez de líneas de texto para la creación de aplicaciones. Al contrario de los Lenguajes de Programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, LabVIEW utiliza la programación por flujo de datos, donde se determina la ejecución del programa. En LabVIEW, se diseña una interfaz de usuario mediante el uso de un set de herramientas y objetos. La interfaz de usuario es conocida como el Panel Frontal (Front Panel). Entonces se agrega código haciendo uso de las representaciones gráficas o funciones para controlar los objetos del Panel Frontal. El diagrama de bloques contiene este código. Si es organizado adecuadamente, el diagrama de bloques se asemeja a un diagrama de flujo. [4]

2.4.1 Principales usos. LabVIEW es usado por miles de ingenieros e investigadores para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control usando íconos gráficos e intuitivos y cables que parecen un diagrama de flujo. Ofrece una integración incomparable con miles de dispositivos de hardware y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos, todo para crear instrumentación virtual. La plataforma LabVIEW es escalable a través de múltiples

objetivos y sistemas operativos, desde su introducción en 1986 se ha vuelto un líder en la industria.

Los principales usos de LabVIEW son:

- Adquisición de datos
- Control de instrumentos
- Automatización industrial o PAC.
- Diseño de control [5]

2.4.2 Principales características. Su principal característica es la facilidad de uso, personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él.

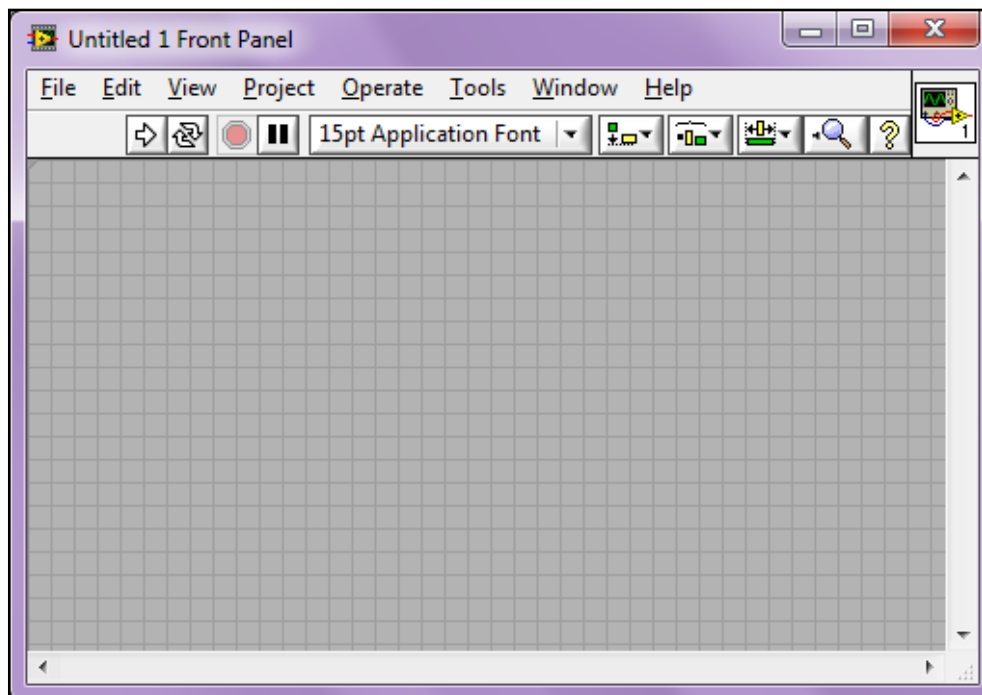
Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (páginas de código) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, etc. [6]

2.4.2.1 Programa en LabVIEW. Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya prediseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

2.4.2.2 Panel frontal. El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real, como van fluyendo los datos, un ejemplo sería una calculadora, donde le pones las entradas, y te pone el resultado en la salida

En esta interfaz se define los controles e indicadores.

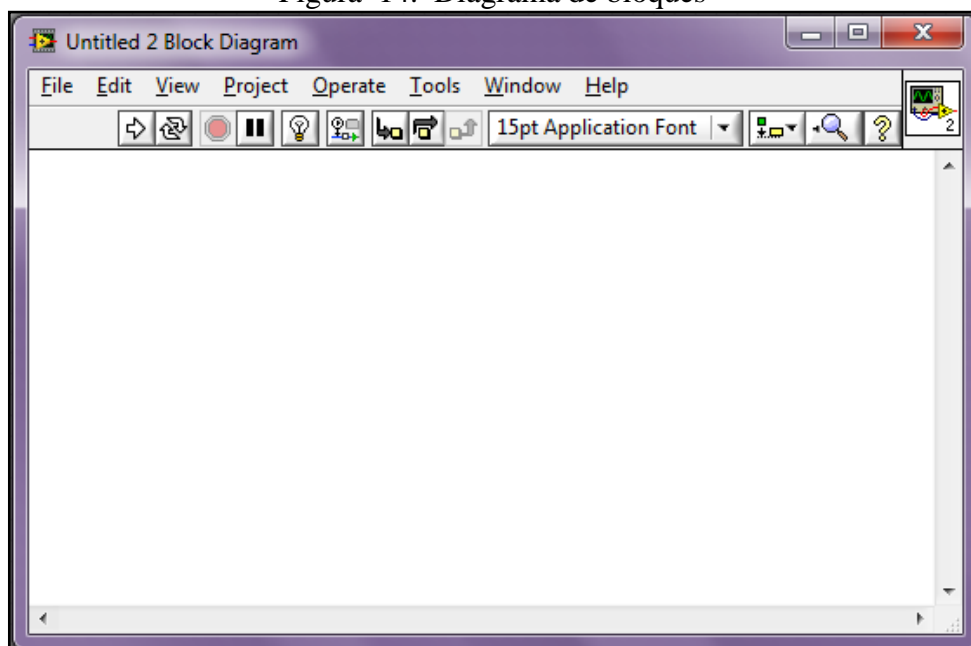
Figura 13. Panel frontal



Fuente: Autor

2.4.2.3 Diagrama de Bloques. Es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales.

Figura 14. Diagrama de bloques



Fuente: Autor

En el panel frontal, encontraremos todo tipos de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, es decir el usuario podrá diseñar un proyecto en el panel frontal con controles y indicadores, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuaran con la terminal del VI. Podemos observar en el diagrama de bloques, todos los valores de los controles e indicadores, como van fluyendo entre ellos cuando se está ejecutando un programa VI.

Paleta de herramientas. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques. [7]

Figura 15. Paleta de herramientas



Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news24/nota01.htm>

A continuación se muestra la tabla 2 con los atajos de teclado más útiles de LabVIEW.

Tabla 2. Atajos de teclado más útiles de LabVIEW

Combinación de teclas Función	
CTRL + R	Ejecuta el programa
CTRL + .	Aborta la ejecución
CTRL + E	Conmuta entre la dos ventanas principales
CTRL + B	Elimina los hilos rotos
CTRL + H	Muestra u oculta la ayuda contextual
CTRL + ?	Muestra la ayuda
CTRL + C	Copia los objetos seleccionados al portapapeles
CTRL + X	Corta los objetos seleccionados al portapapeles
CTRL + V	Pega los objetos desde el portapapeles
CTRL + Z	Deshace la última acción
CTRL + SHIFT + Z	Rehacer
CTRL + S	Guarda el VI
CTRL + U	Ordena de forma automática los objetos
TAB	Cambia entre las herramientas
CTRL + arrastrar	Crea una copia de los objetos seleccionados
SHIFT + arrastrar	Mueve los objetos solamente en una dirección

Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news24/nota01.htm>

2.4.3 Categorías de análisis. LabVIEW ofrece cientos de funciones de análisis incorporadas que cubren diferentes áreas y métodos de extraer datos previamente adquiridos.

Estas funciones son categorizadas en los siguientes grupos: Medición, procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, simulación y áreas de aplicación.

2.4.3.1 Procesamiento de señal. Filtros digitales, correlación, dominio de frecuencia, análisis de empalme, tiempo-frecuencia, muestreo, generación de señales, análisis espectral de súper-resolución, transformadas, dominio del tiempo, diseño de onda y bancos de filtros, windowing.

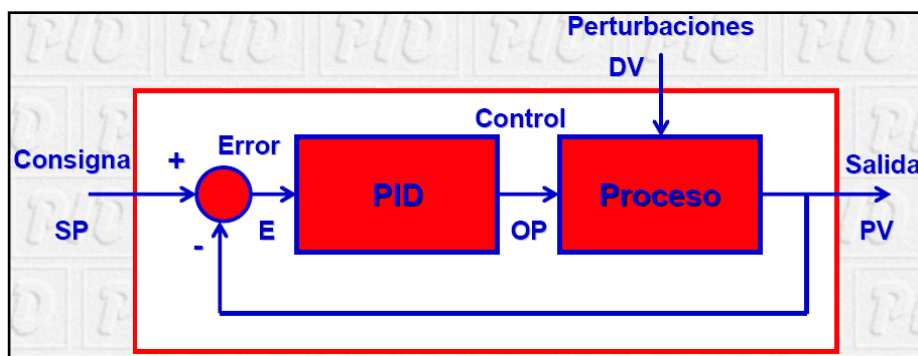
2.4.3.2 Medición. Nivel y amplitud, análisis de frecuencia (espectro), ruido y distorsión, pulso y transición, generación de señales y forma de onda, análisis en el dominio de tiempo.

2.4.3.3 Matemática. Básicas, ajustes de curvas y modelado de datos, ecuaciones diferenciales, interpolación y exploración, algebra lineal, sistemas no lineales, optimización, búsqueda de raíces, funciones especiales, estadísticas y procesos aleatorios.

2.4.3.4 Procesamiento de imágenes. Análisis blob y morfología, igualación de patrones de color, filtros, herramientas de máquinas de visión avanzadas, análisis de imagen, manipulación de imagen y píxeles, reconocimiento de caracteres ópticos, herramientas de región de interés.

2.4.4 Control PID.

Figura 16. Esquema básico control PID



Fuente: http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C07

Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de un control por retroalimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar el proceso acorde. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral y el derivativo.

A continuación se presenta la fórmula para el controlador PID continuo.

$$u(t) = K_P e(t) + \frac{K_P}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_P T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Figura 17. Gráfica de las acciones del control PID.



Fuente: http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C07

Este tipo de control es suficiente para muchos problemas de Control. Más del 95% de los lazos de control utilizan el PID, este tipo de control tiene algunas funciones importantes las cuales son:

- Utiliza la realimentación para rechazar las perturbaciones.
- Elimina el error estacionario con la acción integral.
- Puede anticiparse debido a la acción derivativa.

A continuación se dará una breve descripción de los parámetros que integran el control PID, entre los cuales se tenemos la ganancia proporcional, constante de tiempo integral y constante de tiempo derivativa.

La ganancia proporcional (K_p). Es la constante de proporcionalidad en la acción de control proporcional. Una K_p pequeña implica una acción proporcional pequeña, por el contrario una K_p grande implica una acción proporcional grande.

La acción proporcional produce una señal de control proporcional a la señal de error.

Sus principales características son:

- Simple.
- Fácil de sintonizar (un solo parámetro).
- Puede reducir, pero no eliminar, el error en estado estacionario.
- la instantaneidad de aplicación
- la facilidad de comprobar los resultados

El valor proporcional determina la reacción del error actual. El integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, del error de seguimiento se reduce a cero.

Constante de tiempo integral (T_i).

El tiempo requerido para que la acción integral contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción proporcional.

Una T_i pequeña implica una acción integral grande por el contrario una T_i grande implica una acción integral pequeña.

La acción integral proporciona una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna.

Sus principales características son:

- Elimina errores estacionarios.
- Más del 90% de los lazos de control utilizan la acción integral.
- Puede inestabilizar al sistema si T_i , disminuye mucho.

Constante de tiempo derivativa (T_d).

El tiempo requerido para que la acción proporcional contribuya a la salida del control en una cantidad igual a la acción derivativa.

Una Td pequeña implica una acción derivativa pequeña en cambio una Td grande implica una acción derivativa grande.








La acción derivativa anticipa el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier perturbación.

El derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar el proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador.

2.4.5 Tipos de datos en LabVIEW. Una de las primeras cosas que se aprenden en cualquier lenguaje de programación son los tipos de datos disponibles. No debe confundirse el tipo de datos con tipo de terminal.













Se puede observar en la tabla 3 y 4 los diferentes tipos de datos utilizados para la programación, y además la forma en que los distintos tipos de datos de LabVIEW se almacenan en memoria.

Tabla 3. Otros tipos de datos o en LabVIEW

	Variable booleana
	String (texto simple)
	Número de referencia(refnum)
	Variant (datos con tipo de dato incluido)
	Path
	Nombre I/O (nombres de canal I/O, recurso VISA...)
	Gráficos

Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news24/nota01.htm>

Tabla 4. Tipos de datos en LabVIEW.

	Tipo de dato	Bits de almacenamiento	Color
	Precisión extendida Coma flotante	128	Naranja
	Precisión doble. Coma flotante	64	Naranja
	Precisión simple Coma flotante	32	Naranja
	Largo Entero con signo	32	Azul
	Palabra Entero con signo	16	Azul
	Byte Entero con signo	8	Azul
	Largo Entero sin signo	32	Azul
	Palabra Entero sin signo	16	Azul
	Byte Entero sin signo	8	Azul
	Precisión extendida Complejo	256	Naranja
	Precisión doble Complejo	128	Naranja
	Precisión simple Complejo	64	Naranja

Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news24/nota01.htm>

2.5 Sensores

La instrumentación y la teoría de control basan sus desarrollos en la necesidad de adquirir señales que provienen del medio con el fin de ser procesadas y analizadas.

Siempre será conveniente que el ingeniero integrador de sistemas tenga presente que toda instrumentación comienza con el sensor, un buen conocimiento de éstos traerá como consecuencia proyectos seguros, óptimos y rentables.

El sensor tiene como función básica adquirir señales provenientes de sistemas físicos para ser analizadas, por lo tanto se podrán encontrar en medios tantos sensores como señales físicas requieran ser procesadas.

Basados en el principio de conversión de energía el sensor tomará una señal física (fuerza, presión, sonido, temperatura, etc.) y la convertirá en otra señal (eléctrica, mecánica óptica, química, etc.) de acuerdo con el tipo de sistema de instrumentación o control implementado.

El sensor es por lo tanto un convertidor de energía de un tipo en otro. Los más comunes de las conversiones son a energía eléctrica, mecánica o hidráulica. Los sensores que convierten una señal física cualquiera a una eléctrica son generalmente llamados sensores. Los que convierten una señal eléctrica en otro tipo de señal son denominados actuadores. Algunos autores llaman a los primeros transductores de entrada y a los segundos transductores de salida. Sin embargo la Sociedad Americana de Instrumentación (ISA), define el sensor como sinónimo de transductor. [8]

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, robótica, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc

2.5.1 Características de un sensor

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.

- Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetibilidad: error esperado al repetir varias veces la misma medida. [9]

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

2.5.2 Resolución y precisión. La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm.

En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema.

No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida.

2.5.3 Clasificación de los sensores. A pesar de que pueden existir decenas de clasificaciones para los sensores, se tomara a manera de guía las siguientes.

2.5.3.1 Atendiendo al tipo de señal de entrada. Los sensores pueden ser clasificados dependiendo del tipo de señal al cual responden.

- *Mecánica:* Ejemplos: longitud, área, volumen, masa, flujo, fuerza, torque, presión, velocidad, aceleración, posición, acústica, longitud de onda, intensidad acústica.
- *Térmica:* Ejemplos: temperatura, calor, entropía, flujo de calor.
- *Eléctrica:* Ejemplos: voltaje, corriente, carga, resistencia, inductancia, capacitancia, constante dieléctrica, polarización, campo eléctrico, frecuencia, momento dipolar.
- *Magnética:* Ejemplos: intensidad de campo, densidad de flujo, momento magnético, permeabilidad.

- *Radiación:* Ejemplos: intensidad, longitud de onda, polarización, fase, reflectancia, transmitancia, índice de refractancia.
- *Química:* Ejemplos: composición, concentración, oxidación/potencial de reducción, porcentaje de reacción, PH. [10]

2.5.3.2 *Atendiendo al tipo de señal entregada por el sensor.* Los sensores dependiendo del tipo de la señal entregada pueden ser clasificados en:

Sensores análogos. La gran mayoría de sensores entregan su señal de manera continua en el tiempo. Son ejemplo de ellos los sensores generadores de señal y los sensores de parámetros variables

Sensores digitales. Son dispositivos cuya salida es de carácter discreto. Son ejemplos de este tipo de sensores: codificadores de posición, codificadores incrementales, codificadores absolutos, los sensores auto resonantes (resonadores de cuarzo, galgas acústicas, cilindros vibrantes, de ondas superficiales (SAW), caudalímetros de vórtices digitales), entre otros.

2.5.3.3 *Atendiendo a la naturaleza de la señal eléctrica generada.* Los sensores dependiendo de la naturaleza de la señal generada pueden ser clasificados en:

Sensores pasivos. Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir por intermedio de una fuente auxiliar. Ejemplo: sensores de parámetros variables (de resistencia variable, de capacidad variable, de inductancia variable).

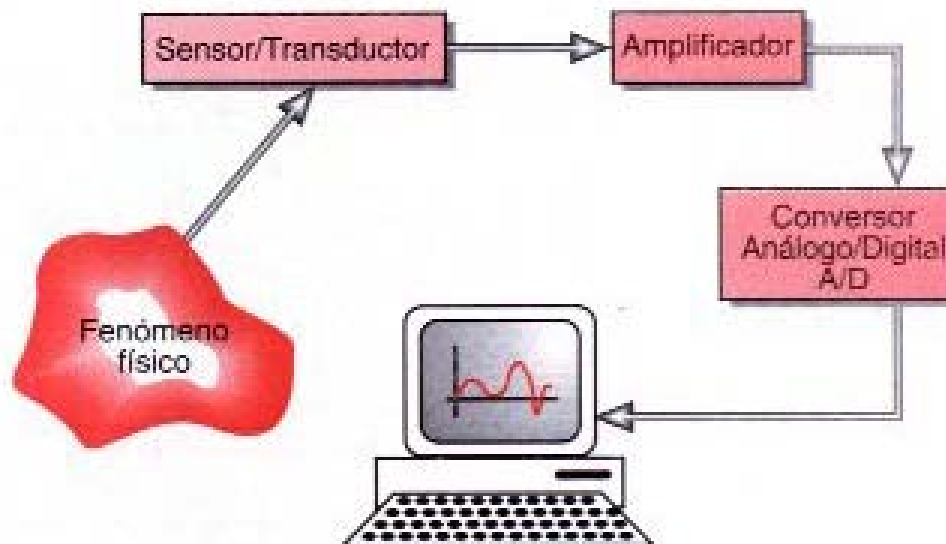
Sensores activos o generadores de señal. Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir en forma autónoma, sin requerir de fuente alguna de alimentación. Ejemplo: sensores piezoeléctricos, fotovoltaicos, termoeléctricos, electroquímicos, magnetoeléctricos.

2.6 Adquisición de datos

Se entiende por Adquisición de datos a la acción de medir variables, convertirlas a formato digital, almacenarlas en un computador y procesarlas en cualquier sentido. Este proceso necesita de una "interface" entre el mundo físico y el computador que se suele

denominar como tarjeta de adquisición de datos. El proceso de adquisición de datos del mundo físico conlleva los siguientes pasos fundamentales:

Figura 18. Adquisición de datos análogos



Fuente: <http://www.ni.com/labview/applications/daq/esa/>

El proceso de adquisición de datos del mundo físico conlleva los siguientes pasos fundamentales:

1. Utilización de un sensor/transductor adecuado para la variable que se desea medir, el cual permite detectar y convertir la variable física a una señal analógica de voltaje o corriente eléctrica.
2. Amplificación de la señal de voltaje o corriente, si se requiere. Si la señal que proviene del sensor es débil, se requiere un amplificador de voltaje y algún método para filtrar los ruidos eléctricos.
3. Traducción de esta señal analógica al lenguaje propio del computador: lenguaje digital. Este proceso se conoce técnicamente como conversión ANÁLOGO/DIGITAL (A/D).
4. Adquisición propiamente dicha de los datos que, en forma digital, podrán ser almacenados en la memoria del micro y llevados luego a pantalla o a otro periférico del computador. [11]

2.6.1 *DAQ USB 6008*

El USB-6008 de National Instruments brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio.

Es accesible para uso de estudiantes, pero lo suficientemente poderoso para aplicaciones de medida más sofisticadas.

Utilice el NI USB-6008 que incluye el software registrador de datos para empezar a tomar medidas básicas en minutos o prográmelo usando LabVIEW.

Cada módulo USB de adquisición de datos incluye una copia de NI LabVIEW SignalExpress LE así usted puede adquirir, analizar y presentar datos rápidamente sin programación.

Además de LabVIEW SignalExpress, los dispositivos de adquisición de datos por USB son compatibles con las siguientes versiones (o posteriores) de software de aplicación LabVIEW 7.x, LabWindows™/CVI 7.x o Measurement Studio 7.x.

Los módulos USB de adquisición de datos también son compatibles con Visual Studio .NET, C/C++ y Visual Basic 6.

- 8 entradas analógicas (12 bits, 10 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- La versión OEM está disponible
- Compatible con LabVIEW,
- Compatible LabWindows/CVI
- Compatible Measurement Studio para Visual Studio .NET
- Software controlador NI-DAQmx
- y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos.

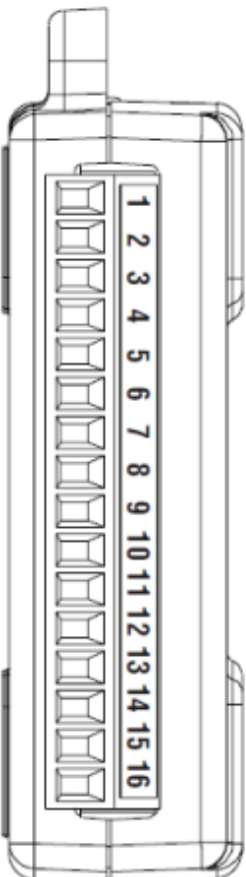
Figura 19. DAQ USB 6008



Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201986>

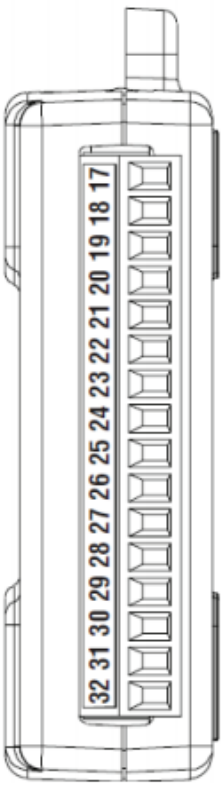
Conector I/O. Los módulos se encuentran distribuidos en dos borneras, las mismas que tienen la asignación de terminales indicado en las siguientes tablas.

Tabla 5. Asignación de terminales análogos

Módulo	Terminal	Nombre	Descripción
	1	GND	Tierra
	2	AI 0	Entrada análoga 0
	3	AI 4	Entrada análoga 4
	4	GND	Tierra
	5	AI 1	Entrada análoga 1
	6	AI 5	Entrada análoga 5
	7	GND	Tierra
	8	AI 2	Entrada análoga 2
	9	AI 6	Entrada análoga 6
	10	GND	Tierra
	11	AI 3	Entrada análoga 3
	12	AI 7	Entrada análoga 7
	13	GND	Tierra
	14	AO 0	Salida análoga 0
	15	AO 1	Salida análoga 1
	16	GND	Tierra

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201986>

Tabla 6. Asignación de terminales digitales

Módulo	Terminal	Nombre	Descripción
	17	P0.0	Puerto 0 Línea 0
	18	P0.1	Puerto 0 Línea 1
	19	P0.2	Puerto 0 Línea 2
	20	P0.3	Puerto 0 Línea 3
	21	P0.4	Puerto 0 Línea 4
	22	P0.5	Puerto 0 Línea 5
	23	P0.6	Puerto 0 Línea 6
	24	P0.7	Puerto 0 Línea 7
	25	P1.0	Puerto 1 Línea 0
	26	P1.1	Puerto 1 Línea 1
	27	P1.2	Puerto 1 Línea 2
	28	P1.3	Puerto 1 Línea 3
	29	PFI 0	Entrada Trigger
	30	2,5V	Voltaje de referencia
	31	5V	Fuente auxiliar
	32	GND	Tierra

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201986>

2.7 Control y monitoreo de datos

El control automático de procesos es parte del progreso industrial desarrollado durante lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial. El uso intensivo de la ciencia de control automático es producto de una evolución que es consecuencia del uso difundido de las técnicas de medición y control. Su estudio intensivo ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas.

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana. [13]

El elemento más importante de cualquier sistema de control automático es lazo de control realimentado básico. El concepto de la realimentación no es nuevo, el primer

lazo de realimentación fue usado en 1774 por James Watt para el control de la velocidad de cualquier máquina de vapor. A pesar de conocerse el concepto del funcionamiento, los lazos se desarrollaron lentamente hasta que los primeros sistemas de transmisión neumática comenzaron a volverse comunes en los años 1940, los años pasados han visto un extenso estudio y desarrollo en la teoría y aplicación de los lazos realimentados de control. En la actualidad los lazos de control son un elemento esencial para la manufactura económica y prospera de virtualmente cualquier producto, desde el acero hasta los productos alimenticios. A pesar de todo, este lazo de control que es tan importante para la industria está basado en algunos principios fácilmente entendibles y fáciles. Este artículo trata éste lazo de control, sus elementos básicos, y los principios básicos de su aplicación.

CAPÍTULO III

3. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO

3.1 El EPC

Diseñado para optimizar el tiempo de laboratorio de cátedras técnicas, el EPC presenta experimentos de adquisición y procesamiento de señales y de control automático.

- Temperatura: medición, filtrado, control manual, control PID mediante PWM, introducción de perturbaciones
- Velocidad: Caracterización Voltaje-Velocidad de un motor DC para comprobar linealidad, control manual, demostración de sintonización de parámetros PID mediante el segundo método de Ziegler-Nichols, experimentación de diferentes valores de ganancias del controlador PID
- Posición: control de motor de pasos (stepper), secuencias de energización de bobinas
- Análisis de señales AC: Adquisición de datos de un micrófono a alta velocidad, análisis de espectros, detección de evento de teclado DTMF.
- Relé de propósito general

3.2 Parámetros de funcionamiento del EPC

Los experimentos que se pueden realizar el EPC son los siguientes:

- Control de temperatura
- Control de velocidad de motor dc
- Control de posición de motor Stepper
- Análisis de sonido
- Relé de propósito general

3.2.1 Medición y control de temperatura. El EPC incluye un bombillo halógeno que produce calor cuando se enciende. Este elemento simula un dispositivo de calentamiento tipo On/Off como puede ser una niquelina, o una válvula todo-nada.

Un sensor de temperatura convierte la señal de calor en una señal de voltaje según la siguiente.

Ecuación: $^{\circ}\text{C} = V * 100$ (2)

Dónde: $^{\circ}\text{C}$ es la temperatura en grados Celsius

V es el voltaje que entrega el sensor de temperatura

100 es una constante numérica

Un ventilador instalado frente al halógeno permite sacar el aire caliente del EPC, introduciendo también una perturbación en el sistema térmico.

Estas prácticas deben ser realizadas estrictamente según las instrucciones, pues de lo contrario las temperaturas generadas podrían dañar el equipo, e incluso provocar quemaduras en la piel si entra en contacto directo con el bombillo Halógeno. Por lo tanto se debe utilizar la tapa protectora de acrílico transparente debidamente asegurada y cuidar de no sobrepasar los 70 grados Celsius de temperatura durante más de 2 minutos.

3.2.2 Medición y Control de Velocidad. El EPC incluye un motor de corriente continua (Motor DC) en cuyo eje esta acoplado un encoder de 36 pulsos por revolución para medir la velocidad. El motor es controlado por una señal de voltaje DC que puede variar entre 0 y 5 voltios. La salida del encoder es una señal pulsante.

En estas prácticas se utilizaran programas para producir la señal de control de corriente continua desde la tarjeta DAQ. Típicamente estas tarjetas soportan señales de hasta 10V y de baja corriente, usualmente por debajo de los 5mA. En estas prácticas se utiliza un voltaje de control máximo de 5V. El EPC incluye un amplificador electrónico lineal que permite ampliar el voltaje de control de un máximo de 5V a un máximo de 12V, además de entregar la corriente necesaria para el funcionamiento del Motor DC.

Se sugiere seguir las prácticas en el orden que están expuestas, pues están organizadas en complejidad progresiva.

Se pueden utilizar los programas entregados, pero se sugiere escribir los programas desde el inicio para obtener un mayor entendimiento del funcionamiento, incrementar la experiencia de desarrollo, y generar ideas para mejorarlos e implementar nuevas características.

3.2.3 Control de posición. El EPC incluye un motor de pasos unipolar (Stepper) de cuatro entradas digitales disponibles en los terminales L0, L1, L2 y L3. Conforme se activan las líneas digitales en determinadas secuencias, el motor gira paso a paso.

El EPC también incluye un encoder de 36 pulsos por revolución, de modo que cada pulso representara 10° .

En estas prácticas se utilizaran cuatro líneas de un puerto digital la tarjeta DAQ para comandar las bobinas del Stepper de modo que se pueda configurar la secuencia de energizado. El Stepper tiene un giro de aproximadamente 7.5° por cada paso. Por lo tanto, necesitara 48 pasos para girar una revolución completa de 360° .

Las bobinas del Stepper funcionan con lógica directa; es decir, cuando se envía una señal TRUE a una línea del Stepper, la bobina correspondiente se activa.

Si al conectar la tarjeta DAQ se enciende uno o más de los LEDs de Líneas del Stepper desconectar inmediatamente la Fuente de Poder de 12VDC, y enviar un FALSE a todas las líneas digitales de la tarjeta DAQ desde el utilitario de la tarjeta DAQ Measurement and Automation Explorer, tal como muestra la figura (en este caso se asume que se han conectado las cuatro líneas del puerto P1 de la tarjeta DAQ a las líneas del Stepper). Esto pondrá en FALSE a todas las líneas desenergizando todas las bobinas del Stepper.

3.2.4 Análisis de sonido. El ECP incluye un micrófono que permite adquirir la señal de sonido mediante la tarjeta DAQ. Esta señal de tipo corriente alterna, y el procesamiento que se realiza es un análisis de espectros y otras mediciones típicas.

En estas prácticas se asume que se utiliza una tarjeta DAQ genérica como la USB-6009, y el objetivo es comprender las bases de este tipo de análisis.

Las principales características de este tipo de tarjetas son:

- Alta resolución, necesaria para detectar armónicos de alta y baja magnitud

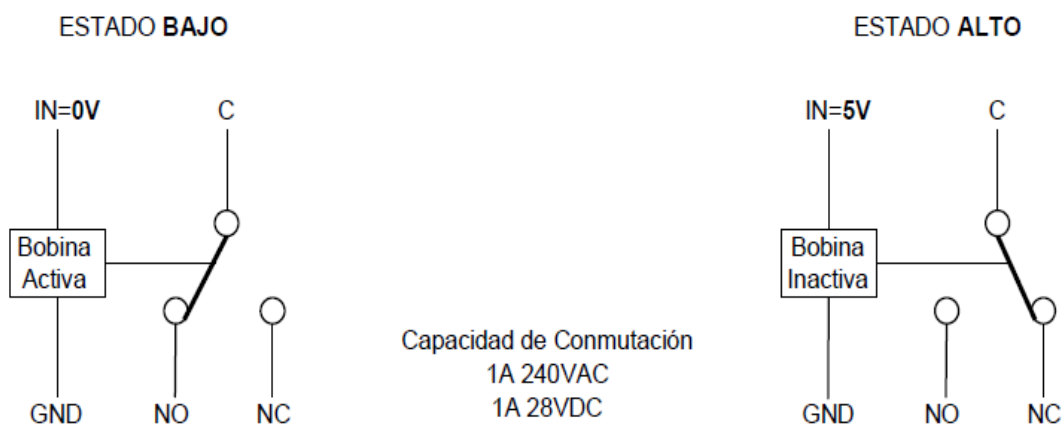
- Filtros Anti-Alias para eliminar el Alias debido al muestreo.
- Muestreo simultáneo para evitar el desfase en adquisición de datos en varios canales.
- Acoplamiento AC/DC para eliminar las componentes de corriente continua.

Este tipo de análisis es similar al que se requiere en aplicaciones de medición de calidad de energía, vibración, telecomunicaciones, etc.

3.2.5 Relé de propósito general. El EPC incluye un relé electromecánico para aplicaciones de conmutación de propósito general.

Este relé es tipo SPDT, por lo tanto incluye un contacto común C, un contacto normalmente abierto NO (por “Normally Open”), y un contacto normalmente cerrado NC (por “Normally Closed”). Para controlar la bobina IN (por “Input”) se la alimenta con una señal tipo TTL.

Figura 20. Relé de propósito general



Fuente: EPC manual del usuario.pdf

El relé funciona con lógica inversa; es decir:

- Cuando se envía un estado BAJO (0V) a la bobina del relé, este se activa conmutando el terminal común C con el terminal normalmente abierto NO.
- Cuando se envía un estado ALTO (5V) a la bobina del relé, este se desactiva conmutando el terminal común C con el terminal normalmente cerrado NC.

3.3 Programación del módulo de entrenamiento.

3.3.1 Entorno de programación. Para la realización de este proyecto, se ha escogido como entorno de programación LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), que proporciona una gran facilidad para desarrollar instrumentos virtuales.

LabView es una herramienta de programación gráfica, que permite la construcción de sistemas de adquisición de datos, instrumentación, control y test. A través de este lenguaje podemos crear rápidamente un interfaz de usuario para interactuar con el sistema.

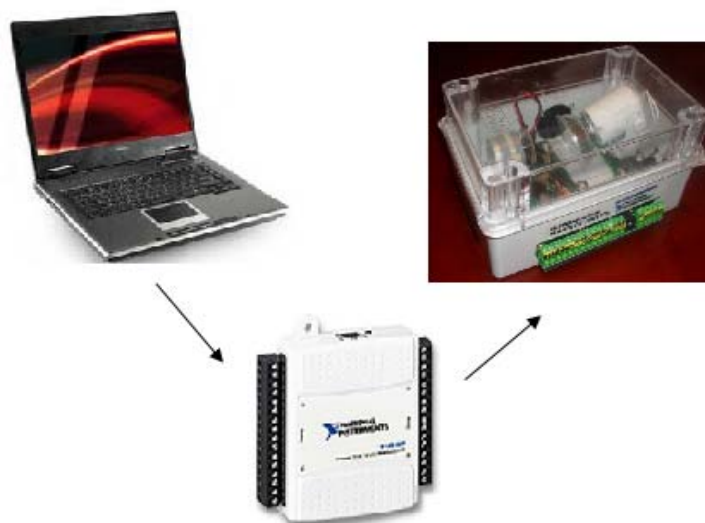
El entorno de programación LabVIEW se estructura de la forma siguiente:

La interactividad con el usuario se realiza a través de un VI (Virtual Instrument), que simula el panel del instrumento físico. Este VI se diseña en el *Panel Frontal*. Este panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos se introducen utilizando el ratón y el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla del ordenador.

3.3.2 Instalación del software LabVIEW. El propósito de esta actividad es para que el alumno sea capaz de instalar correctamente el software en su computadora, recuerde que la licencia de este software fue obtenido por parte de la E.P.O.C.H.

3.3.3 Interfaz DAQ USB 6008 y pc

Figura 21. Interfaz DAQ USB 6008 y pc



Fuente: Autor

3.3.3.1 Hardware necesario

- Tarjeta DAQ USB 6009 ó 6008
- Cable de conexión USB
- Computadora con al menos un puerto USB
- Conecta las terminales de tornillo a las terminales de la DAQ y pegue las etiquetas necesarias en la tarjeta.

3.3.3.2 Software necesario

- LabView
- NI – DAQmx

3.3.3.3 Programación

Asegurese de que la computadora tenga instalado LabView. Si no es así, instálelo insertando los discos de LabView y siguiendo las instrucciones. Inserte los discos de NI DAQ mx que acompañan a la tarjeta DAQ USB 6008/9 en la computadora. Siga los pasos de instalación para los controladores de la tarjeta y del programa.

Cuando haya finalizado, conecte la tarjeta DAQ al cable USB y este a algún puerto USB de la computadora. Aparecerá un globo de diálogo en la barra de tareas como el siguiente:

Figura 22. Interfaz DAQ-PC (paso 1)



Fuente: Autor

Posteriormente aparecerá el asistente de instalación de hardware nuevo. Seleccione la opción que evita que busque en Windows Update el controlador de la tarjeta y presione el botón de “siguiente”:

Figura 23. Interfaz DAQ-PC (paso 2)



Fuente: Autor

Luego aparecerá la ventana de ubicación de driver. En este caso seleccione instalar el programa automáticamente y de click en “Siguiente”:

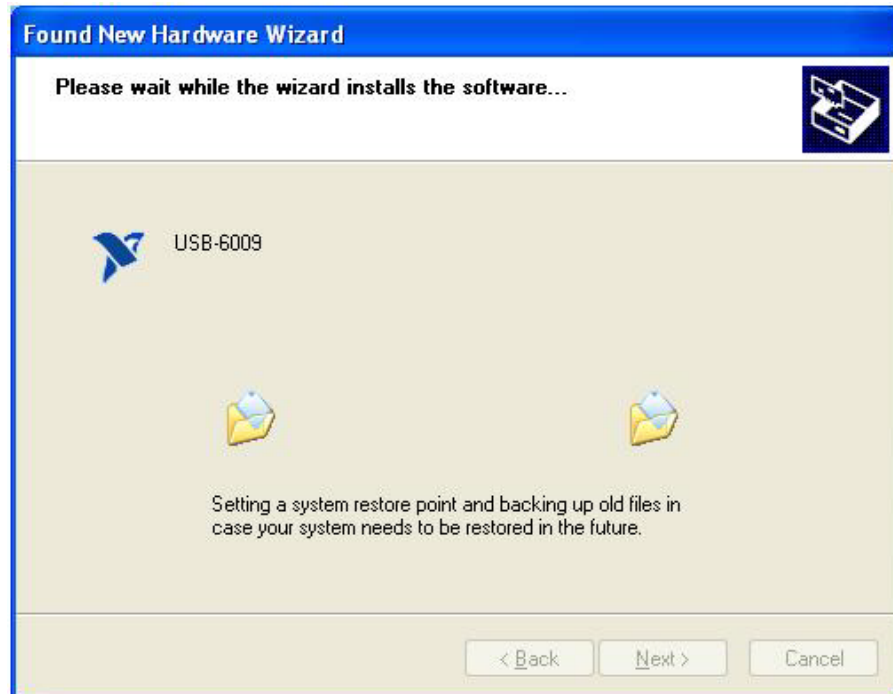
Figura 24. Interfaz DAQ-PC (paso 3)



Fuente: Autor

Aparecerá una venta indicando que la instalación se está llevando a cabo y luego confirmará que la instalación ha sido exitosa:

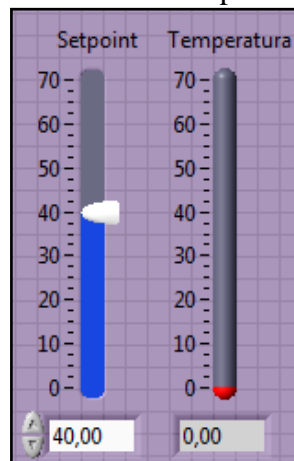
Figura 25. Interfaz DAQ-PC (paso 4)



Fuente: Autor

3.3.4 Programación de control de temperatura PID. Se mejorara el control de temperatura utilizando un controlador PID. En el panel frontal se dispone de un indicador de temperatura tipo Termómetro y un control tipo Slide para establecer el valor de temperatura deseado Setpoint, además de un gráfico que muestra tanto la Temperatura como el Setpoint.

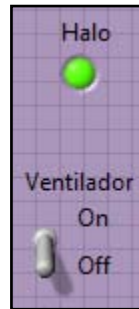
Figura 26. Indicador de temperatura y setpoint



Fuente: Autor

También incluye un control booleano para encender o apagar el Ventilador, y un indicador booleano que muestra el estado del Halógeno.

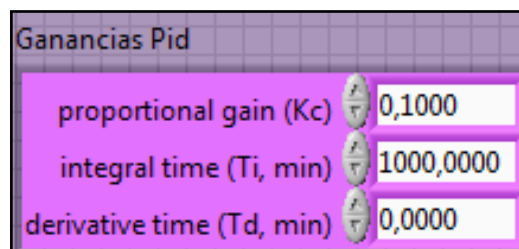
Figura 27. Control booleano e indicador



Fuente: Autor

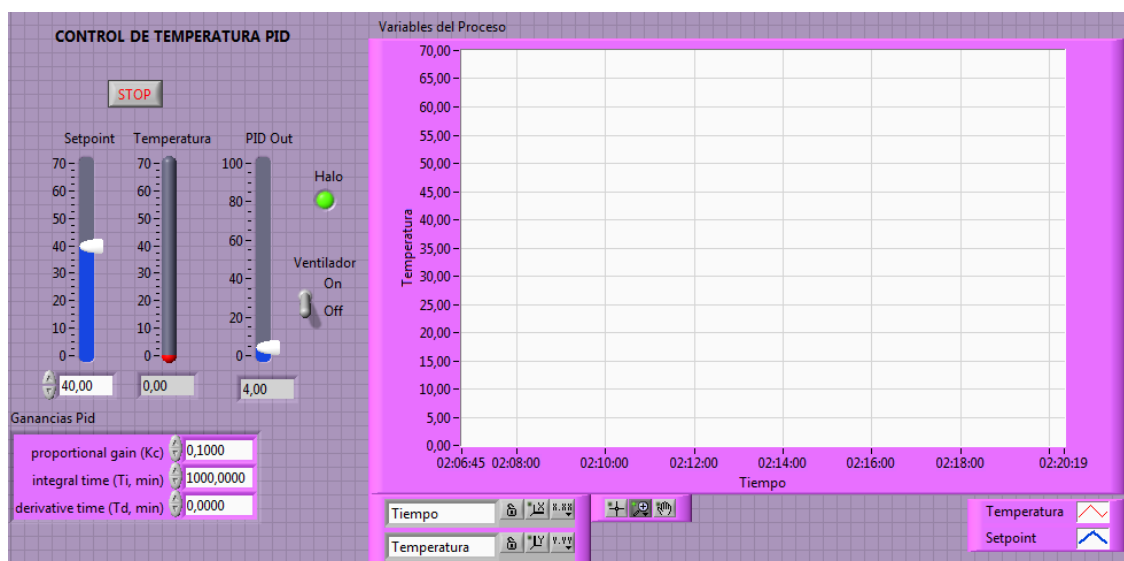
En este programa se dispone adicionalmente de un control que permite ingresar las Ganancias PID del sistema de control, y de un indicador tipo Slide que muestra la salida del controlador PID Out.

Figura 28. Control de ganancias PID



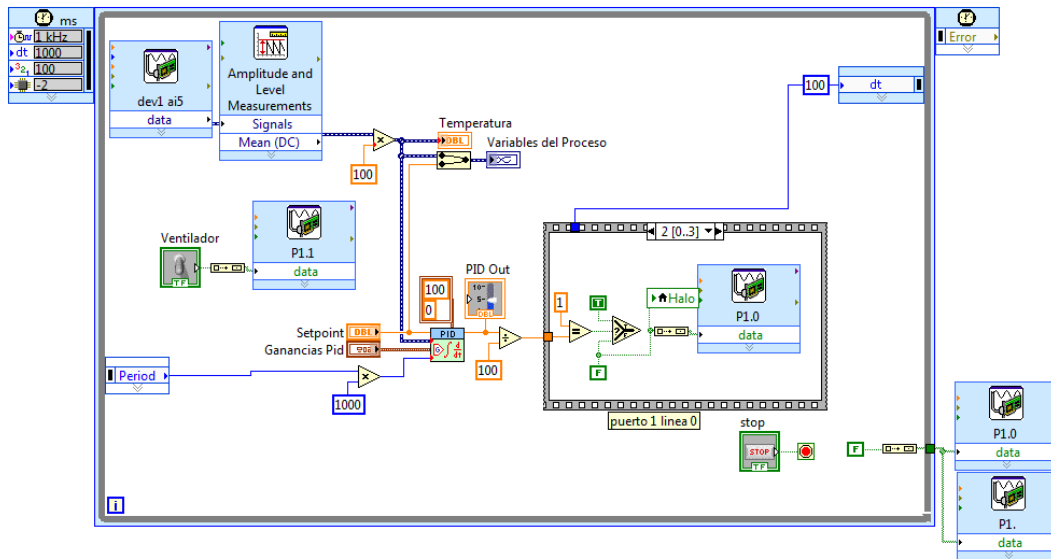
Fuente: Autor

Figura 29. Panel frontal de Temperatura PID



Fuente: Autor

Figura 30. Diagrama de bloques de Temperatura PID



Fuente: Autor

3.3.5 Programación Control PID de Velocidad de Motor DC.

En muchos sistemas en los que es necesario controlar una variable no es posible modelar matemáticamente la planta debido a la falta de especificaciones. Tal es el caso del Motor DC del EPC. Puesto que no se tienen especificaciones del fabricante sobre la resistencia de armadura, inductancia, amortiguamiento por fricción viscosa, inercia del eje, etc. se deben utilizar métodos experimentales para obtener un conjunto de valores para las ganancias del controlador PID.

El usuario selecciona el valor de velocidad al cual se necesita que llegue el Motor, mediante el control numérico tipo Slide Setpoint.

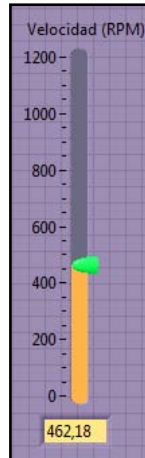
Figura 31. Control setpoint



Fuente: Autor

El indicador numérico tipo Slide Velocidad indica la velocidad a la que el Motor está girando.

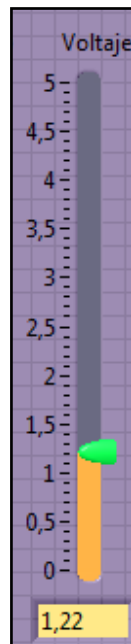
Figura 32. Indicador de velocidad



Fuente: Autor

El indicador numérico tipo Slide **Voltaje** indica el voltaje de salida de la tarjeta DAQ al Motor DC.

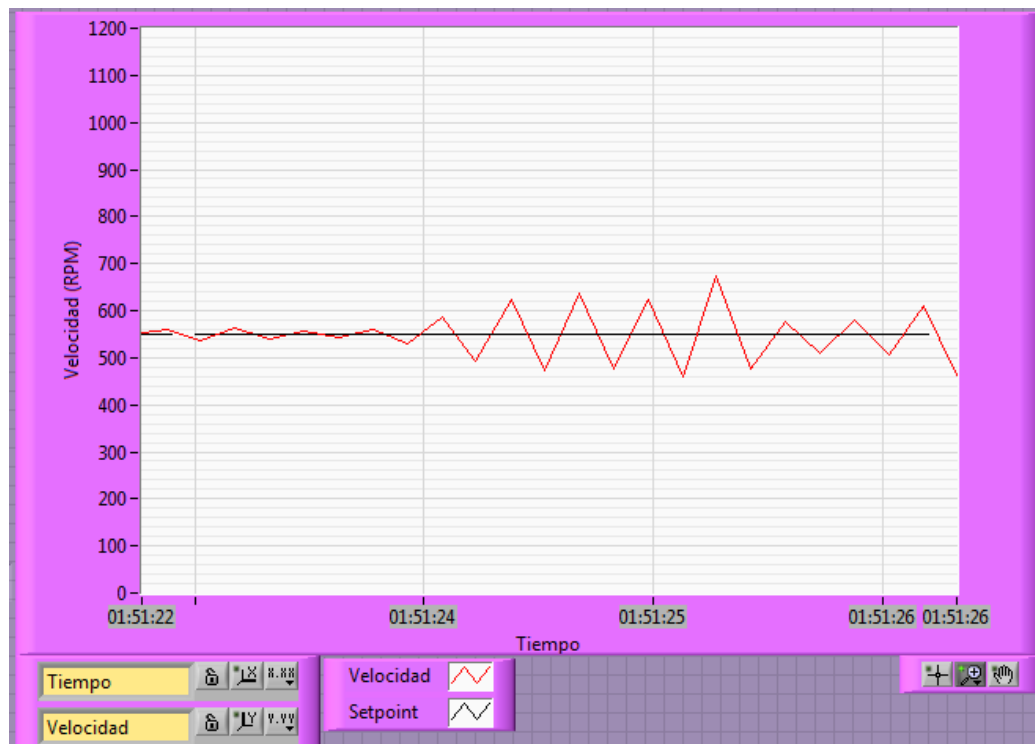
Figura 33. Indicador de voltaje DAQ



Fuente: Autor

El indicador grafico tipo Chart Señales muestra el valor de Setpoint (velocidad deseada) y el valor de Velocidad (velocidad real), ambas en RPM.

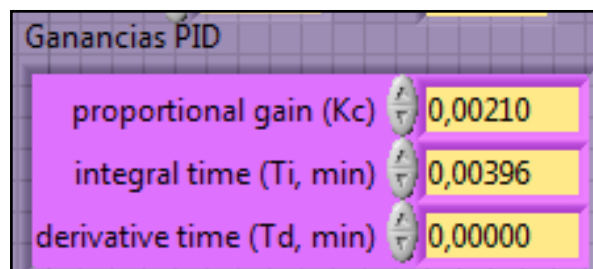
Figura 34. Indicador grafico



Fuente: Autor

El clúster de controles numéricos Ganancias PID contiene los valores de constante proporcional K_c , Tiempo Integral T_i (en minutos), y el Tiempo Derivativo T_d (en minutos).

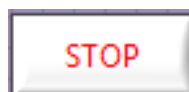
Figura 35. Control de ganancias PID



Fuente: Autor

Un botón de **STOP** que detiene el programa.

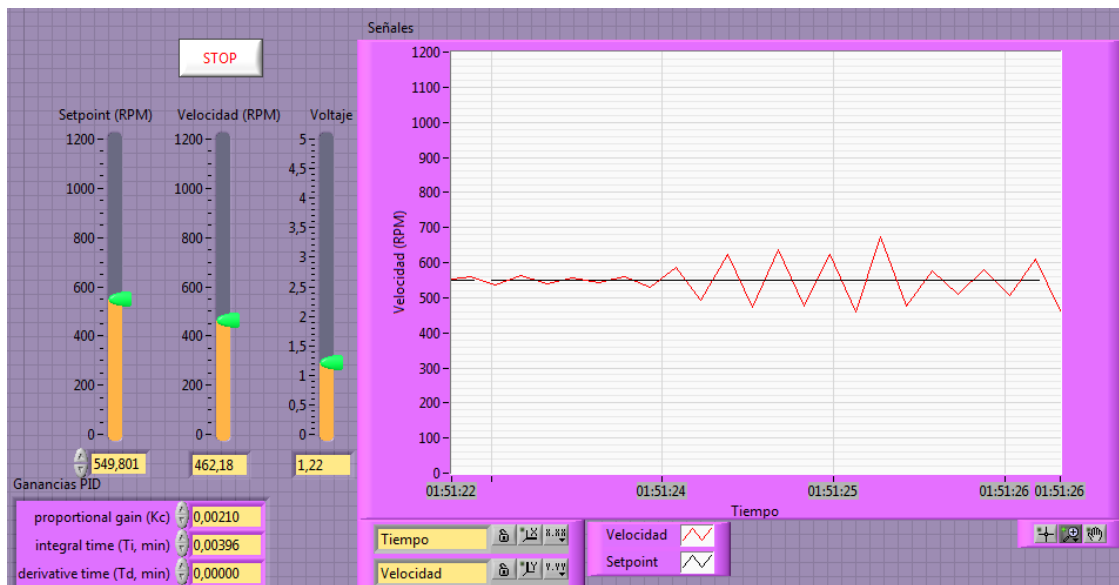
Figura 36. Botón stop



Fuente: Autor

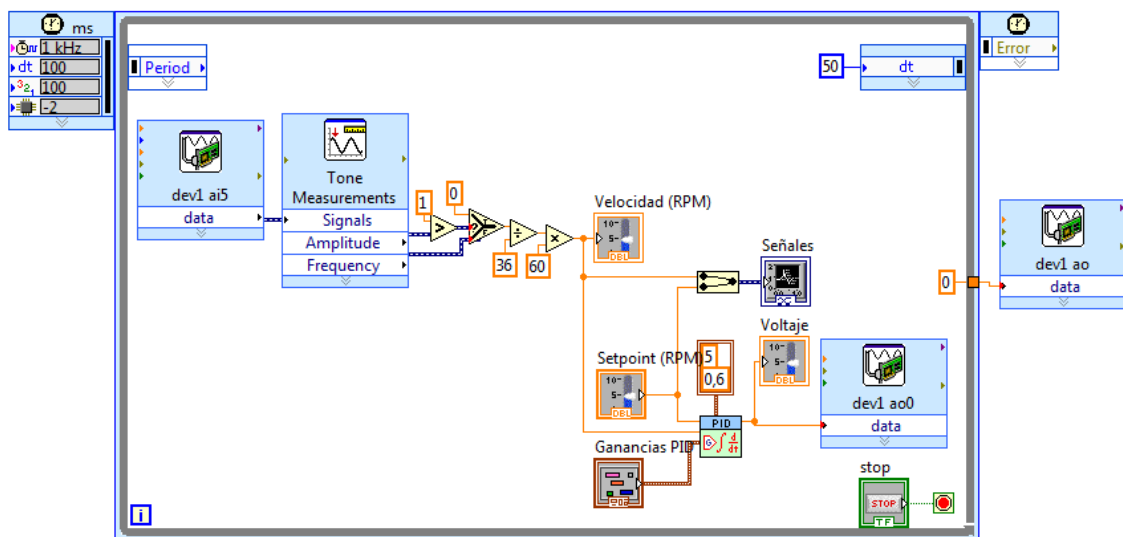
Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se desactiven todas las líneas del Stepper, pues se envía un valor de FALSE a todas las líneas digitales.

Figura 37. Panel frontal de PID de Velocidad



Fuente: El Autor

Figura 38. Diagrama de bloques de PID de Velocidad



Fuente: El Autor

3.3.6 Programación de control de posición.

Se utiliza un control numérico para especificar la posición angular a la que debe apuntar el disco del Stepper. Dada las especificaciones de este equipo, la posición final tendrá una precisión de 7.5° debido a la resolución del paso.

Un control numérico tipo Slide Posición Deseada (grad) para especificar la posición angular en grados a la cual debe apuntar el disco del Stepper. Incluye un control tipo numérico para colocar valores exactos.

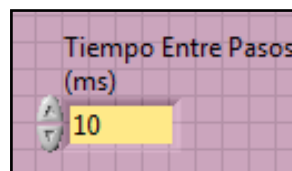
Figura 39. Control de posición



Fuente: El Autor

Un control numérico Tiempo Entre Pasos (ms) para especificar cuantos milisegundos debe esperar el programa antes de realizar el siguiente paso.

Figura 40. Control numérico de tiempo



Fuente: Autor

Un indicador numérico tipo Slide Posición Actual (grad) que especifica la posición angular en grados a la que está apuntando en determinado momento el disco del Stepper.

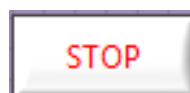
Figura 41. Indicador numérico de posición actual



Fuente: Autor

Un botón de STOP que detiene el programa.

Figura 42. Botón stop



Fuente: Autor

Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se desactiven todas las líneas del Stepper, pues se envía un valor de FALSE a todas las líneas digitales.

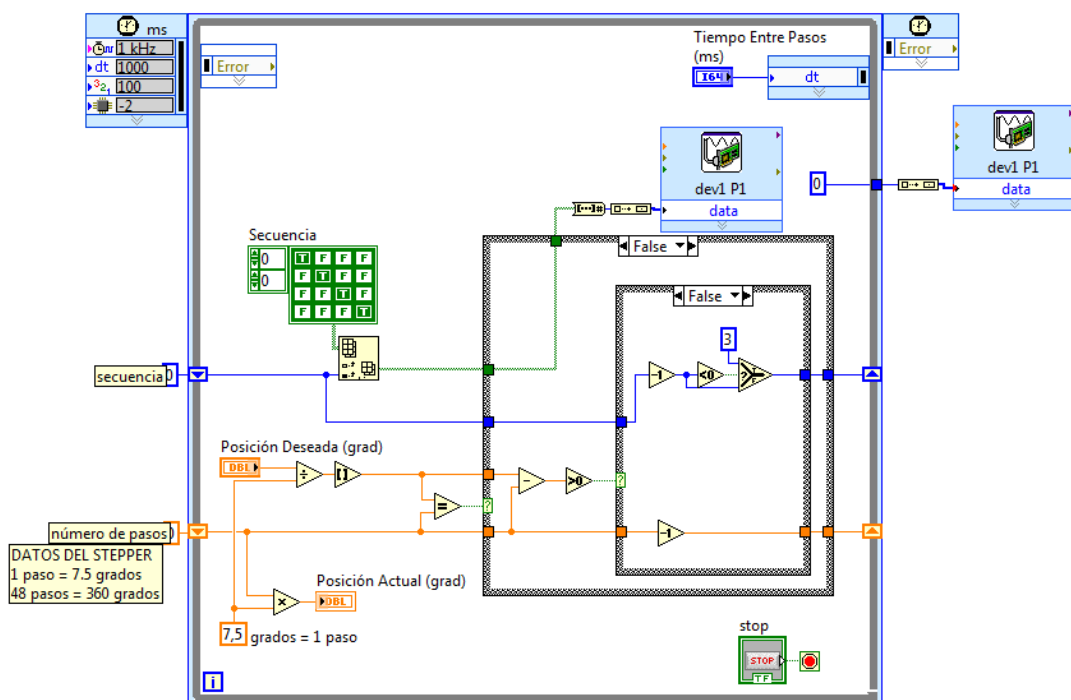
A continuación se presenta el panel frontal y el Diagrama de bloques de la práctica de control de posición.

Figura 43. Panel frontal de control de posición



Fuente: Autor

Figura 44. Diagrama de bloques de control de posición



Fuente: Autor

3.4 Seguridad y mantenimiento del equipo

A continuación se menciona algunas normas de uso y seguridad para el correcto funcionamiento del EPC.

- Antes de conectar una fuente de poder al equipo lea completamente esta sección del manual, pues dependiendo del equipo de control que esté usando, puede encenderse en condiciones que conduzcan a calentamiento y posibles daños a los circuitos, e incluso leves quemaduras en la piel.
- Cuando se activan las bobinas del Stepper, los LEDs de Líneas de Stepper se encienden. Si uno o más de estos LEDs se encienden al conectar la tarjeta DAQ, las bobinas estarán energizadas y el Stepper se calentará considerablemente si no se desactivan dentro de pocos minutos, provocando daños al equipo e incluso podría provocar leves quemaduras en la piel.
- Estas prácticas deben ser realizadas estrictamente según las instrucciones, pues de lo contrario las temperaturas generadas podrían dañar el equipo, e incluso provocar quemaduras en la piel si entra en contacto directo con el bombillo Halógeno. Por lo tanto se debe utilizar la tapa protectora de acrílico transparente debidamente asegurada.
- Si el bombillo se enciende inmediatamente, desconecte solamente el cable de alimentación del bombillo halógeno de 110/220 VAC para evitar que se caliente. Posteriormente el Halógeno se apagará manualmente desde el computador.
- La temperatura se eleva rápidamente; puede llegar de 30° a 100° Celsius en aproximadamente un minuto. Para evitar daños tanto en personas como en el equipo se recomienda no mantener la temperatura por encima de 70° Celsius por más de dos minutos.
- Recordar que para estas prácticas es necesario mantener la tapa colocada y asegurada debidamente, de esta manera se evita que se introduzcan objetos extraños que podrían afectar el buen funcionamiento del equipo.

- Aunque en la superficie del relé puede leerse que soporta conmutaciones de hasta 10A, debido a consideraciones de aislamiento no se deben conmutar cargas más altas que 1A.
- En caso de que se requiera abrir la tapa de acrílico transparente que protege al EPC, se deben girar las cuatro llaves de giro a la posición de apertura; es decir 180° en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj. Estas llaves no son tipo tornillo por lo tanto no es necesario forzar el giro de las mismas.

CAPÍTULO IV

4 MANUAL Y GUÍA DE PRÁCTICAS

4.1 Qué se necesita para empezar

Para desarrollar las prácticas se necesita:

4.1.1 *Requerimientos de hardware.*

- Entrenador de Planta de Control EPC
- Fuente de poder AC/DC de 12V, 1200ma
- Cable de conexión para bombillo halógeno de 110/220 VAC 50/60Hz.
- Tarjeta de adquisición de datos genérica de National Instruments (ejemplo DAQ USB- 6009) con las siguientes características mínimas:
 - salidas digitales tipo TTL
 - 1 entrada analógica de 14 bits, +/-10V, 40KS/s, soporte de adquisición de formas de onda de corriente alterna (N Samples) y de corriente continua.
 - 1 salida analógica de 12 bits, 100 S/s, 0-5V.
 - 1 entrada de contadores de 5MHz
 - Destornillador pequeño
 - Computador con Windows XP/Vista

4.1.2 *Requerimientos de software.*

- LabVIEW 8.6 o superior
- Toolkit de control PID
- Recomendado: Toolkit de diseño e identificación de sistemas de control.

Prerrequisitos

- Conocimientos de programación en LabVIEW fundamental.
- Instrumentos para conocer sobre las opciones de capacitación.
- Conocimientos básicos de sistemas de adquisición de datos y sensores
- Para las prácticas de control, conocimientos básicos de teoría de control moderno.

4.2 Prácticas de laboratorio

Cada una de estas prácticas incluye una breve descripción del hardware y uno o más programas de aplicación desarrollada en LabVIEW. Estos programas se presentan con el código abierto de forma que puedan ser utilizados como base para programas más complicados, o como casos de estudio.

Se pueden utilizar los programas provistos, pero se recomienda desarrollar los programas desde cero para maximizar el aprendizaje y ampliar las experiencias, conceptos e ideas de nuevas prácticas.

4.2.1 *Practica 1*

Tema: Medición y control de temperatura

Objetivo: Realizar Control de Temperatura PID (mediante PWM)

Marco teórico.

Se mejorara el control de temperatura utilizando un controlador PID. Puesto que el bombillo halógeno tiene una operación tipo On/Off, se convertirá la salida analógica del PID en una Señal PWM de baja frecuencia observable que será la señal de control del bombillo halógeno. En Sistemas industriales más avanzados se utiliza un variador de voltaje, o un PWM de alta frecuencia.

La selección de los valores de las ganancias PID se puede obtener por varios métodos experimentales y analíticos. En este caso se trabajaran con diferentes valores de ganancias de K_p y T_i , manteniendo $T_d=0$, y observando el comportamiento de la variable controlada Temperatura.

Los resultados observados en la práctica pueden variar. Estas variaciones se deberían a varios factores como tiempo de vida del Halógeno, orientación del Halógeno hacia el sensor, temperatura ambiente, y perturbaciones como ráfagas de aire.

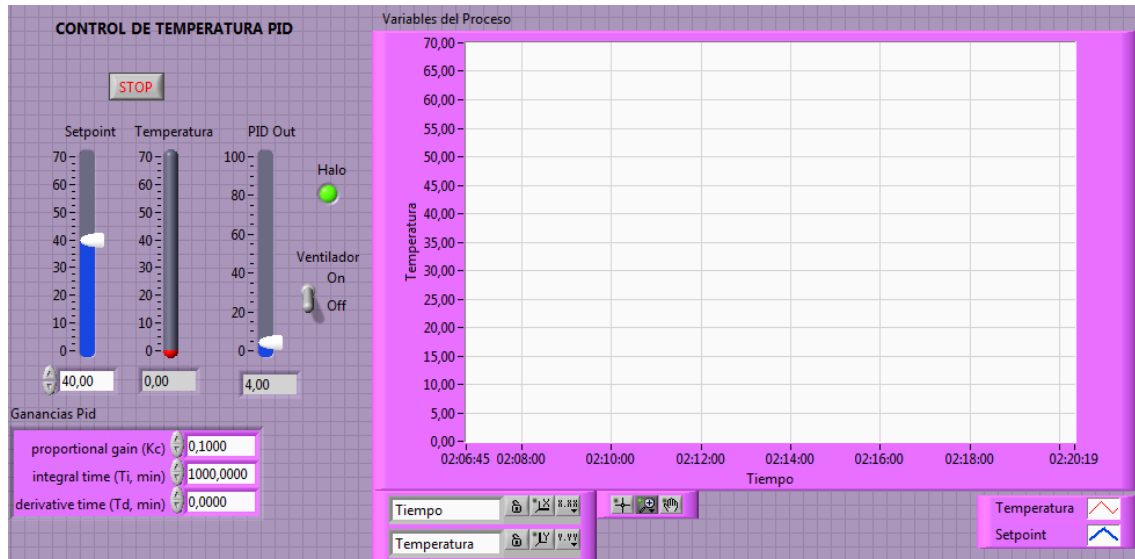
Equipos y materiales:

- Entrenador de Planta de Control EPC
- Fuente de poder AC/DC de 12 V, 1200 mA

- 53

- f) Conectar la fuente de poder del EPC y el cable de alimentación del bombillo halógeno a la toma de poder.
- 2.) Abrir el programa control temp pid.vi.

Figura 46. Panel frontal control de temperatura PID



Fuente: Autor

- 3.) Colocar el Setpoint a 60°C
- 4.) Ingresar los siguientes valores en Ganancias PID.

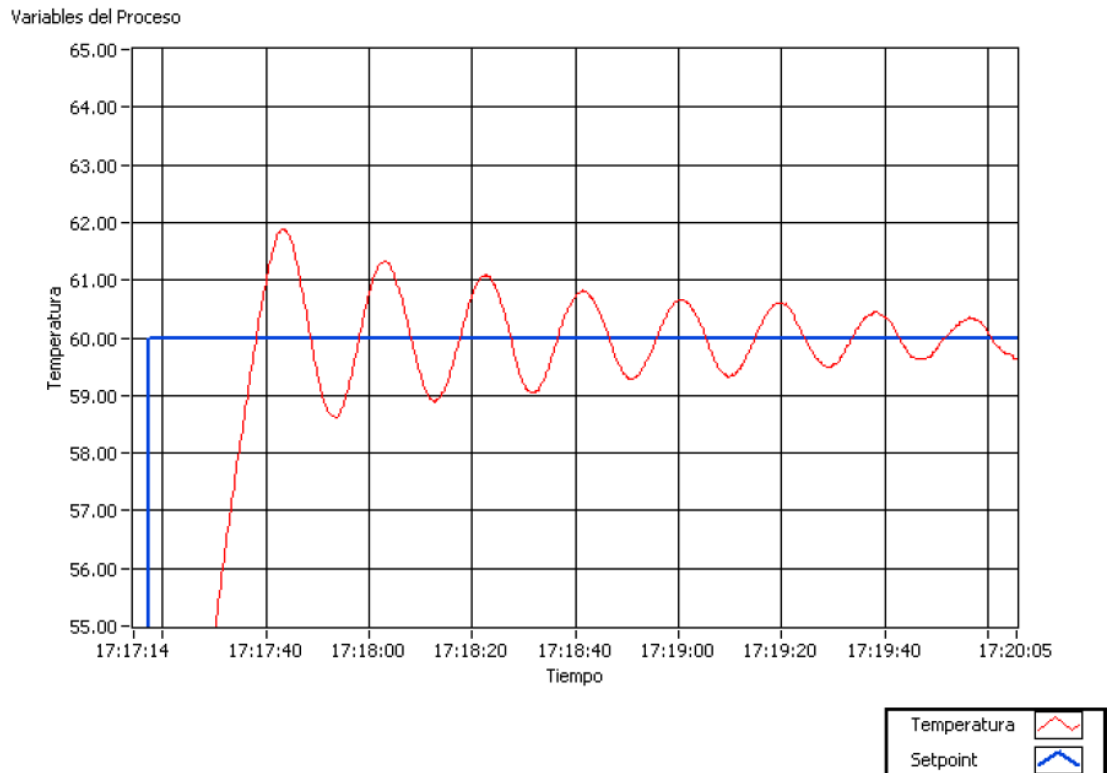
Figura 47. Ganancias PID

Parámetro	Valor
Kc	1.0
Ti	1000.00
Td	0

Fuente: Autor

- 5.) Correr el programa, y observar el funcionamiento del programa.
- 6.) En un sistema PID se aplica una ganancia al error, consistente en la diferencia entre el valor deseado (Setpoint) y el valor de la variable (en este caso, la Temperatura). Se puede observar la salida del PID (PID Out) como un valor entre 0% y 100%, que regula el tiempo del pulso alto del PWM, cuya frecuencia es 100ms.
- 7.) Como se puede observar, con estos valores de parámetros PID el sistema es estable, pero oscila considerablemente, tendiendo a estabilizarse en el setpoint (en este caso, 60°C).

Figura 48. Temperatura vs tiempo



Fuente: Autor

- 8.) Para observar el efecto de usar otras Ganancias PID es necesario antes reducir la temperatura a valores más cercanos que la temperatura ambiente.
 - a) Colocar el Setpoint a 20°C y encender el ventilador hasta que la temperatura baje al menos a unos 40°C.
 - b) Una vez que la temperatura se acerque a estos valores, apagar el ventilador. Es posible que la temperatura tienda a subir ligeramente por el calentamiento del Halógeno y del EPC en general.
- 9.) Borrar la gráfica anterior haciendo click con el botón secundario del ratón sobre la gráfica Variables del Proceso y seleccionando en el menú desplegable la opción Clear Chart.
- 10.) Cambiar las ganancias PID a los siguientes valores y observar la gráfica.

Figura 49. Ganancias PID

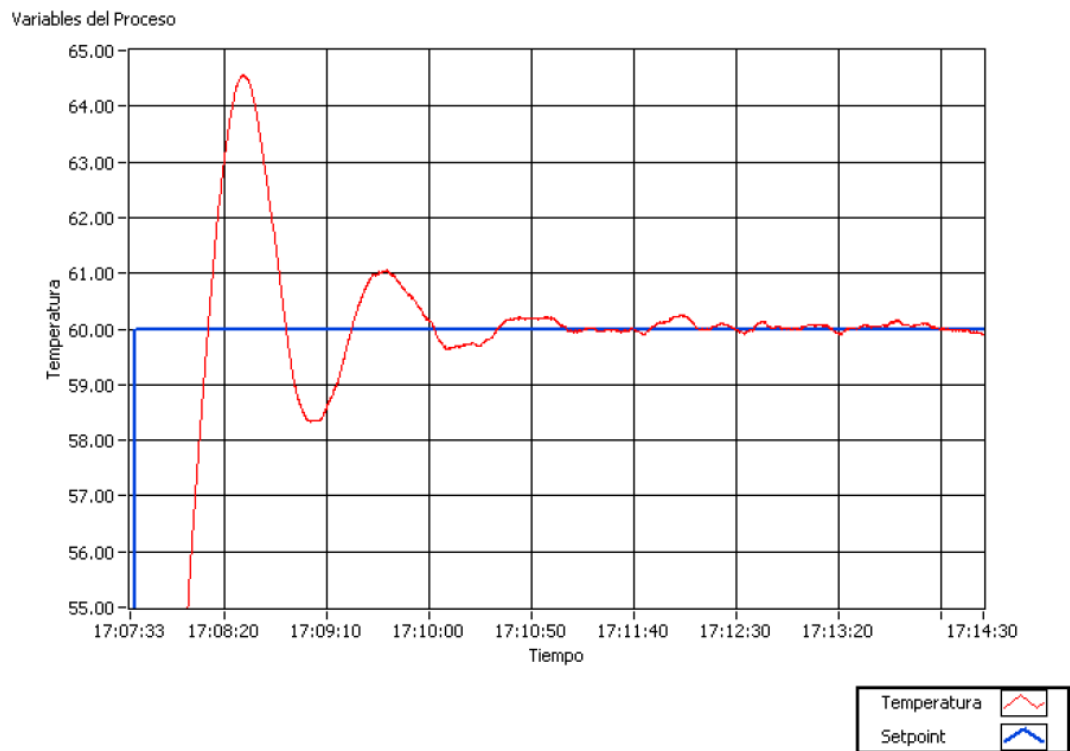
Parámetro	Valor
Kc	0.1
Ti	1000.00
Td	0

Fuente: Autor

11.) Cambiar el **Setpoint** nuevamente a 60°C.

12.) Observar la respuesta del sistema.

Figura 50. Temperatura vs tiempo



Fuente: Autor

13.) Como se puede apreciar, la reducción de la ganancia proporcional produce una respuesta más amortiguada, aunque el tiempo de respuesta se incrementa.

14.) Probar nuevamente la respuesta del sistema, esta vez con una ganancia proporcional a un menor. Para observar el efecto de usar otras Ganancias PID es necesario antes reducir la temperatura a valores más cercanos que la temperatura ambiente.

a) Colocar el Setpoint a 20°C y encender el ventilador hasta que la temperatura baje al menos a unos 40°C.

- b) Una vez que la temperatura se acerque a estos valores, apagar el ventilador. Es posible que la temperatura tienda a subir ligeramente por el calentamiento del Halógeno y del EPC en general.
- 15.) Borrar la gráfica anterior haciendo click con el botón secundario del ratón sobre la gráfica Variables del Proceso y seleccionando en el menú desplegable la opción Clear Chart.
- 16.) Cambiar las ganancias PID a los siguientes valores:

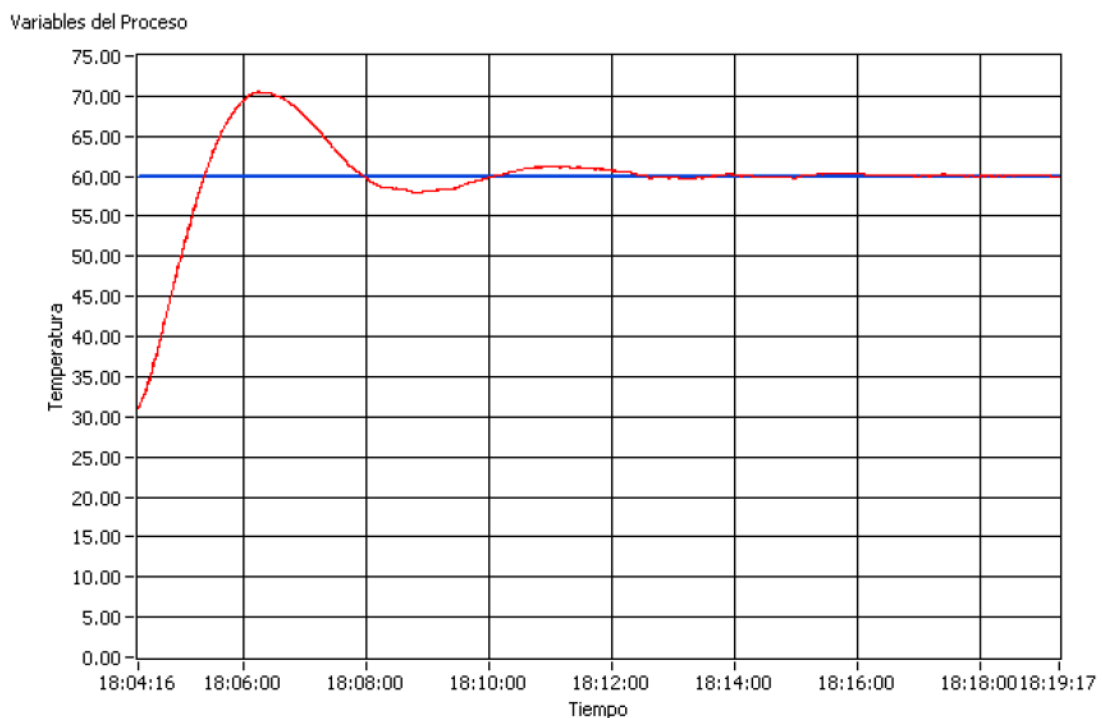
Figura 51. Ganancias PID

Parámetro	Valor
Kc	0.01
Ti	1000.00
Td	0

Fuente: Autor

- 17.) Cambiar nuevamente el Setpoint a un valor alto, por ejemplo 60°C.
- 18.) Observar la respuesta del sistema

Figura 52. Temperatura vs tiempo



Fuente: Autor

- 19.) Como se puede apreciar, la nueva reducción de la ganancia proporcional produce una respuesta más amortiguada que en el caso anterior.
- 20.) También se puede observar que el error es menor que en control On/Off.

Observación:

Los gráficos mostrados en este manual de guía de prácticas pueden diferir de los obtenidos experimentalmente en las practicas, dependiendo de las variaciones de la temperatura ambiental, ráfagas de aire que ingresen por las ranuras del ventilador aun cuando este esté apagado, además del tiempo de vida del Halógeno, etc.

4.2.2 Practica 2

Tema: Medición y Control de Velocidad

Objetivo: Realizar el Control PID de Velocidad de Motor DC

Marco teórico.

En muchos sistemas en los que es necesario controlar una variable no es posible modelar matemáticamente la planta debido a la falta de especificaciones. Tal es el caso del Motor DC del EPC.

Puesto que no se tienen especificaciones del fabricante sobre la resistencia de armadura, inductancia, amortiguamiento por fricción viscosa, inercia del eje, etc. se deben utilizar métodos experimentales para obtener un conjunto de valores para las ganancias del controlador PID. En esta práctica se utilizara la segunda regla experimental de Ziegler-Nichols.

Equipos y materiales:

- Entrenador de Planta de Control EPC
- Fuente de poder AC/DC de 12V, 1200ma
- Tarjeta de adquisición de datos genérica de National Instruments
- Destornillador pequeño
- Computador con software LabVIEW instalado.

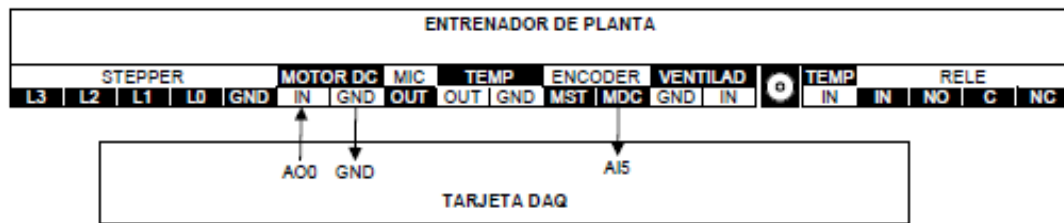
Procedimiento:

1.) Conectar el EPC a la tarjeta DAQ de la siguiente manera:

a) Conectar una salida analógica de la DAQ a la entrada de control del Motor DC.

- b) MOTOR DC IN. En este ejemplo se utiliza la salida analógica número cero (AO0) de la tarjeta instalada como Device 1.
- c) Conectar la referencia GND de la tarjeta DAQ a la referencia GND del EPC. Todas las referencias GND de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB- 6009 y similares); igualmente, todas las referencias GND del EPC están conectadas internamente.
- d) Conectar la salida del encoder del Motor DC del EPC llamada ENCODER MDC a una entrada analógica de la tarjeta DAQ. En este ejemplo se utiliza la entrada analógica número cinco (AI5) en conexión tipo RSE.
- e) Conectar la fuente de poder del EPC.

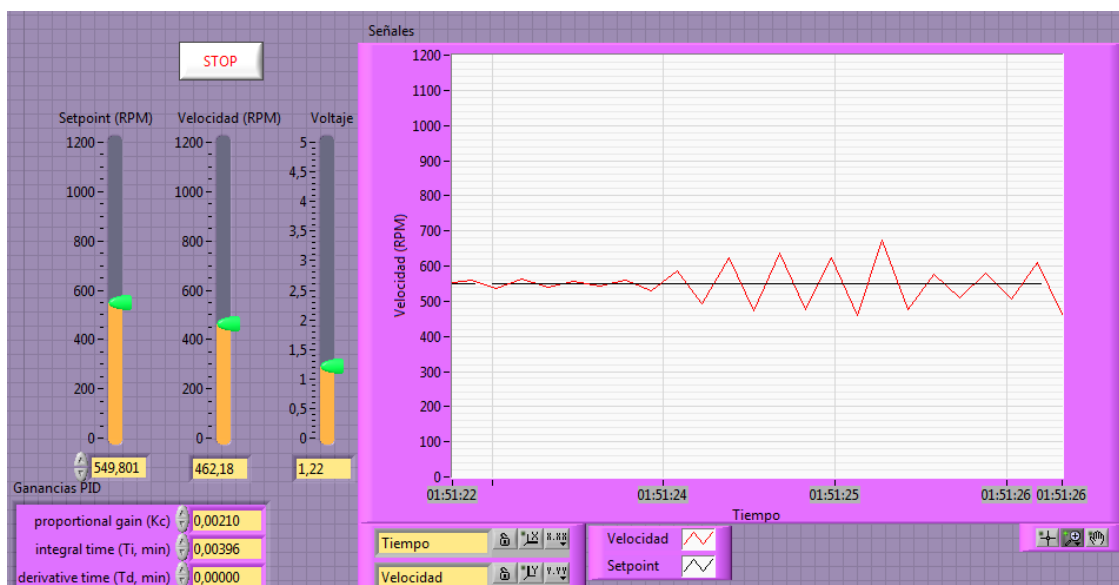
Figura 53. Conexión de EPC a la tarjeta DAQ



Fuente: EPC manual del usuario.pdf

- 2.) Abrir el programa control PID velocidad.vi. El panel frontal presenta los siguientes controles e indicadores:

Figura 54. Control PID velocidad



Fuente: Autor

3.) Hallar un conjunto de valores para las Ganancias PID utilizando el segundo método de Ziegler- Nichols según los siguientes pasos:

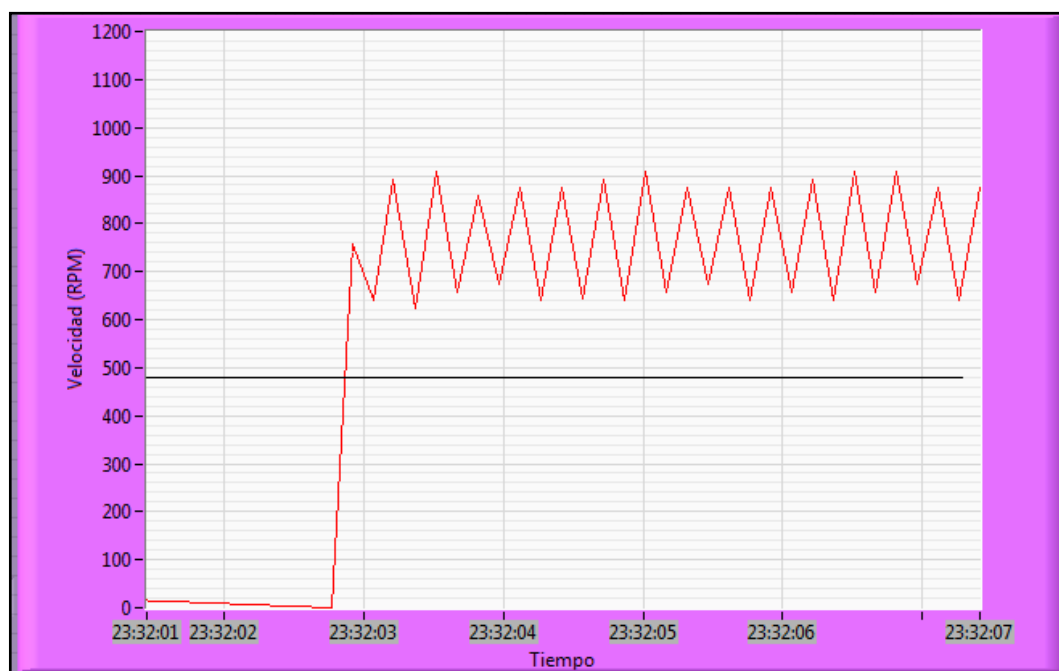
- Asignar $K_c=0$, $T_i=999999$, $T_d=0$
- Cambiar los valores de Setpoint. Observar que el Voltaje no varía, pues no existe acción de control con $K_c=0$.
- Hallar un valor de ganancia proporcional K_c crítico, llamado K_{cr} , en el cual el voltaje de salida, y por lo tanto la velocidad, varíe de forma periódica en respuesta al escalón, y bajo el cual la salida sea estable en respuesta al escalón.

Se recomienda empezar por la unidad, y a continuación ir en incrementos o decrementos de potencias de 10 hasta encontrar K_{cr} .

En el siguiente ejemplo se muestra un procedimiento sugerido, asignar $K_c=1$.

Se obtendrá una señal similar a la siguiente:

Figura 55. Velocidad vs tiempo



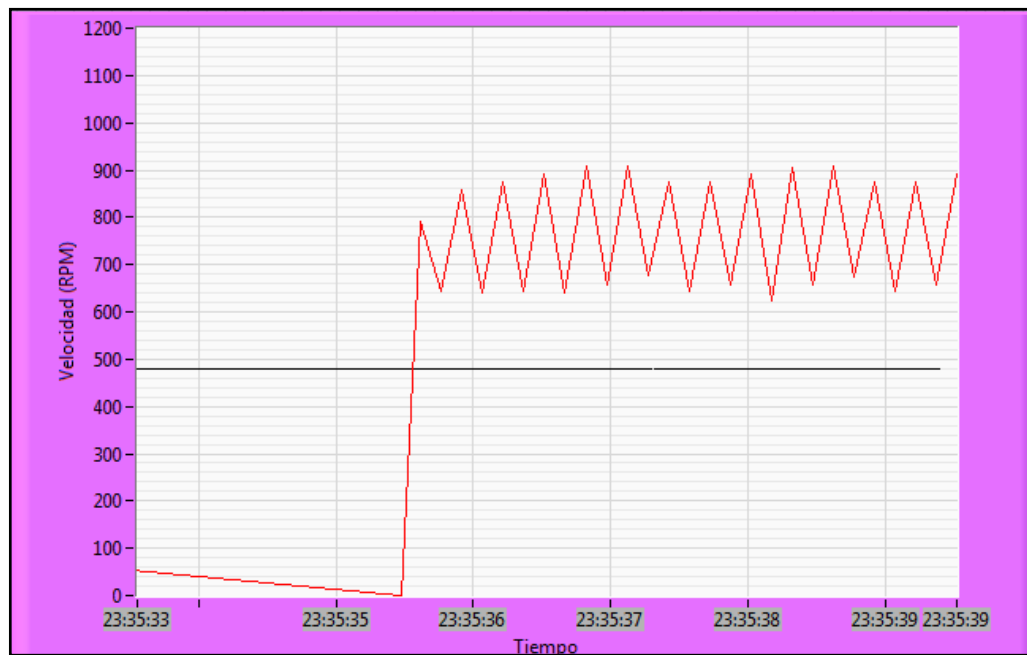
Fuente: Autor

Como se puede observar, la salida varía periódicamente, así que se debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aun varía periódicamente.

Asignar $K_c=0.1$.

Se obtendrá una señal similar a la siguiente:

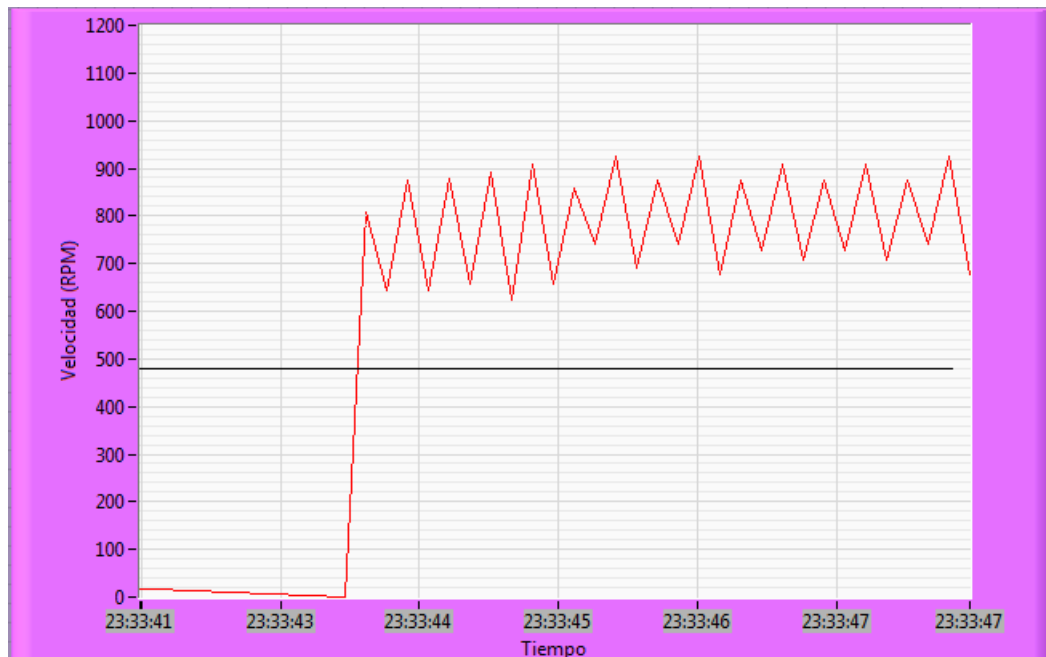
Figura 56. Velocidad vs tiempo



Fuente: El Autor

La señal aun varía periódicamente, así que debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aun vería periódicamente. Asignar $K_c=0.01$.

Figura 57. Velocidad vs tiempo

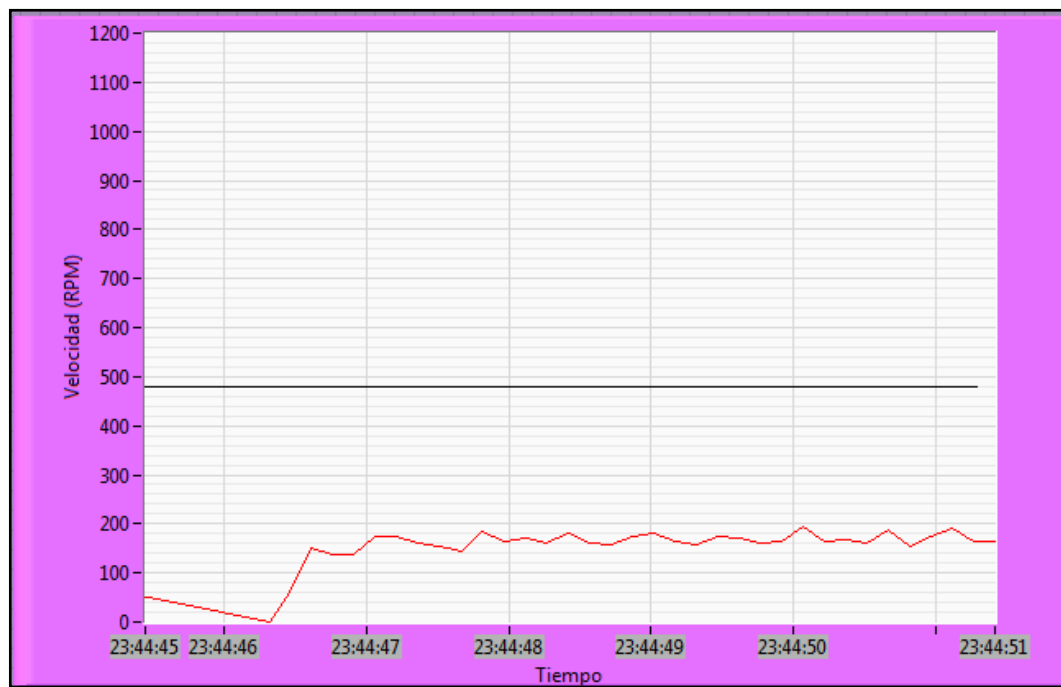


Fuente: Autor

Como se puede observar, la salida aun varia periódicamente, así que debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aun varía periódicamente.

Asignar: $K_c=0.001$. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:

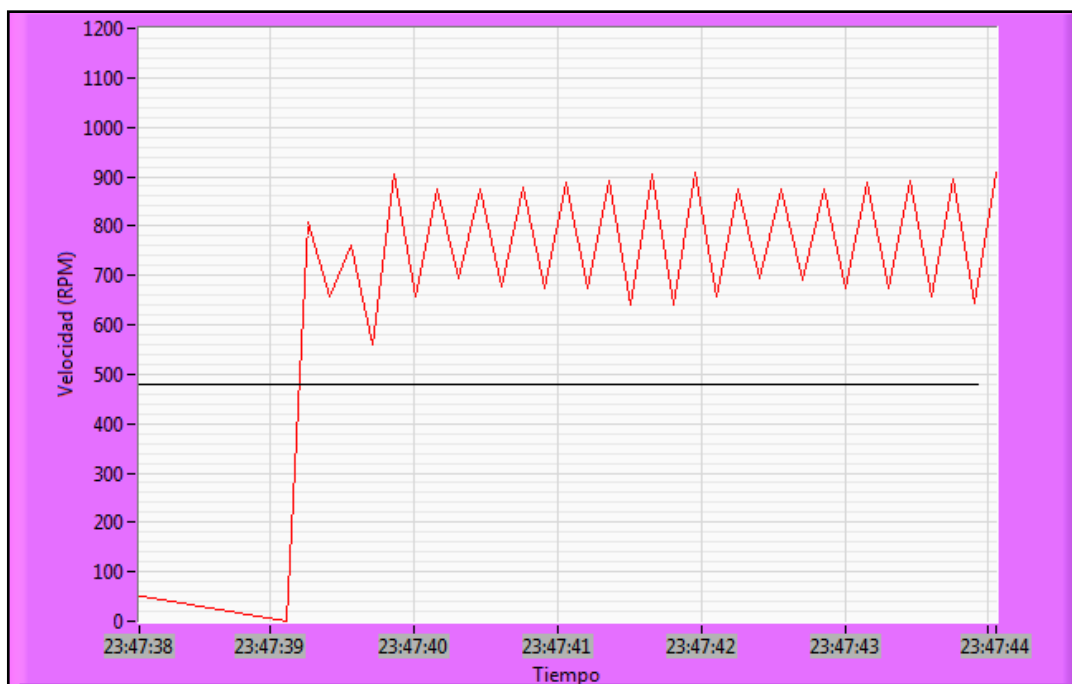
Figura 58. Velocidad vs tiempo



Fuente: Autor

Como se puede observar, la salida ya no oscila. Por lo tanto el valor de K_c crítico está entre 0.001 y 0.01. Asignar: $K_c = 0.005$. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:

Figura 59. Velocidad vs tiempo

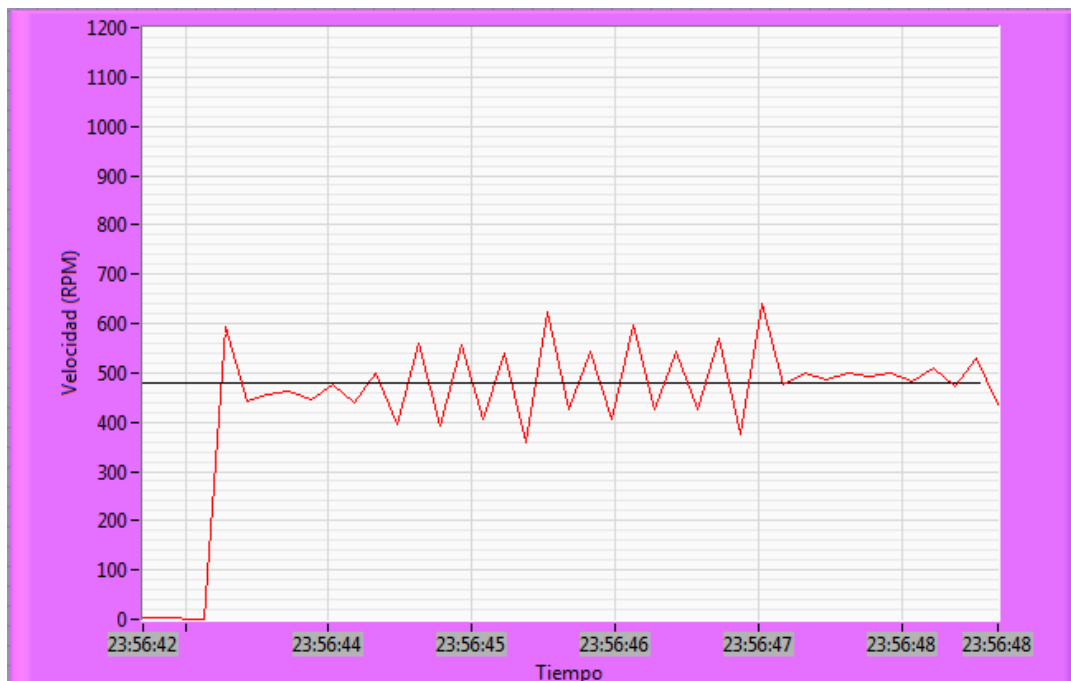


Fuente: Autor

Puesto que la señal oscila, el valor de K_c crítico está entre 0.001 y 0.005.

Asignar $K_c=0.0025$. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:

Figura 60. Velocidad vs tiempo

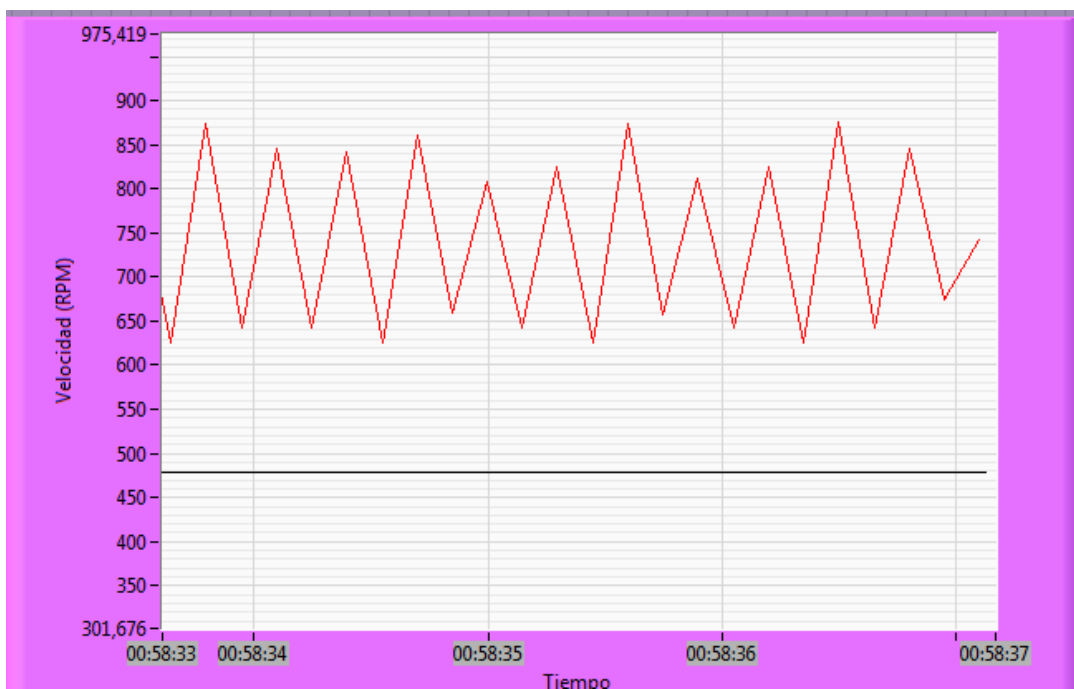


Fuente: Autor

Se puede observar que la salida oscila, se estabiliza, vuelve a oscilar, y así sucesivamente. Puede intentarse un nuevo valor de K_c para confirmar una oscilación más evidente.

Asignar $K_c=0.003$. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:

Figura 61. Velocidad vs tiempo



Fuente: Autor

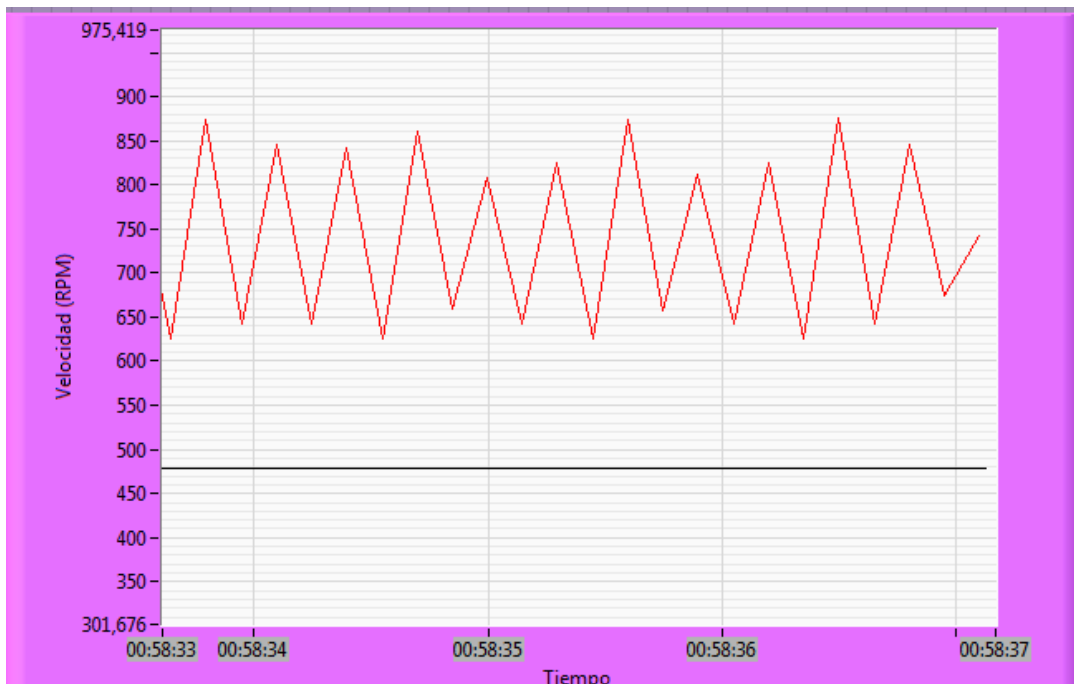
Se puede observar que la señal varía periódicamente, así que podría tomarse a este como el valor de K_c Crítico; así: $K_{cr}=0.003$

A continuación se mide el periodo crítico.

Para ello podemos observar en la gráfica la frecuencia crítica de oscilación de la salida F_{cr} . El periodo crítico P_{cr} será el inverso de la frecuencia crítica F_{cr} , en este caso se tiene aproximadamente 3,5 ciclos por segundo.

Las herramientas de Zoom del gráfico Señales pueden ser de mucha utilidad para medir esta frecuencia, tal como se muestra a continuación.

Figura 62. Velocidad vs tiempo



Fuente: Autor

$$F_{cr} = 3,5 \text{ Hz}$$

$$P_{cr} = 1/3,5 = 0.2857 \text{ segundos}$$

Aplicando la tabla recomendada por el segundo método de sintonía de Ziegler-Nichols se obtienen los siguientes valores (notar que el método proporciona T_i y T_d en segundos, mientras que el controlador PID de LabVIEW especifica sus ganancias T_i y T_d en minutos)

Tabla 7. Método de sintonía de Ziegler-Nichols

Tipo de Controlador	Kc	Ti	Td
P	$0,5 K_{cr}$	inf	0
PI	$0,45 K_{cr}$	$1/1,2 P_{cr}$	0
PID	$0,6 K_{cr}$	$0,5 P_{cr}$	$0,125 P_{cr}$

Fuente: Autor

Tabla 8. Valores experimentales

VALORES MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE			
K_{cr}	0,003		
P_{cr}	0,2857	Seg	
F_{cr}	3,5	Hz	

Fuente: Autor

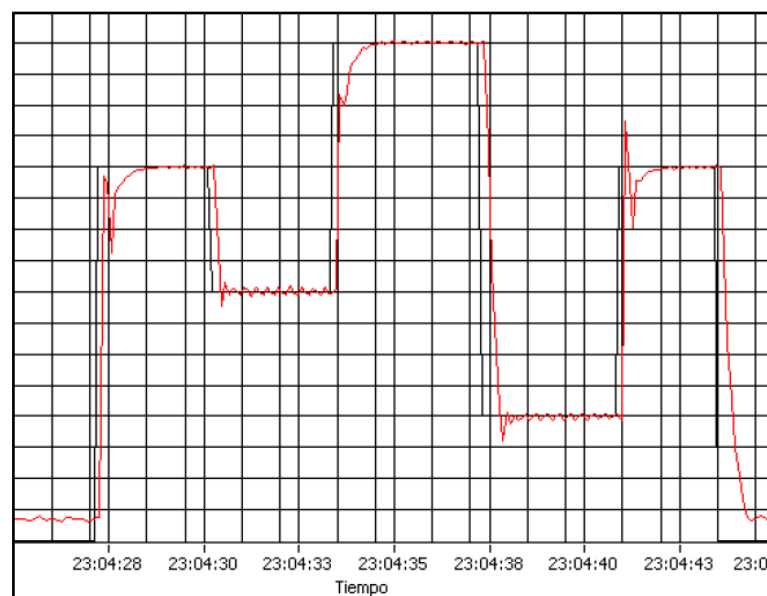
Tabla 9. Resultados ganancias PID

Tipo de Controlador	Kc	Ti(seg)	Td(seg)	Ti(min)	Td(min)
P	0,0015	inf	0	inf	0
PI	0,00135	0,238	0	0,00396	0
PID	0,0018	0,1428	0,0357	0,00238	0,00059

Fuente: Autor

Enviando diferentes valores de escalón pueden observarse que la señal de respuesta sigue correctamente al Setpoint.

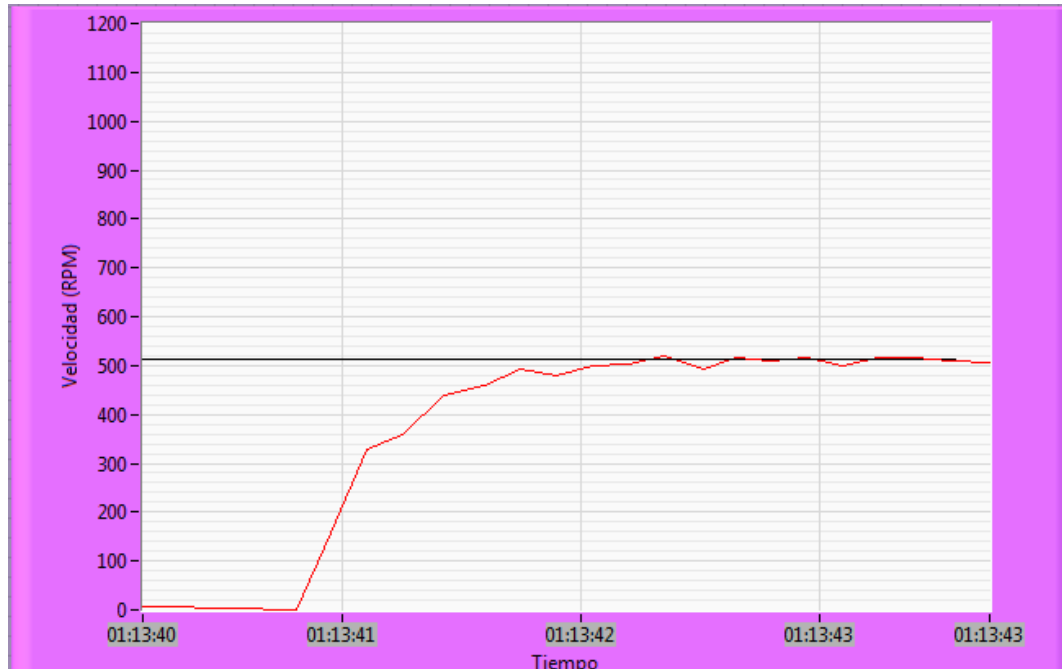
Figura 63. Velocidad vs tiempo



Fuente: Autor

Se puede cambiar los valores de K_c y T_d para observar diferentes tipos de respuestas. Por ejemplo, incrementando $K_c = 0.00210$ y estimulando el sistema con un escalón de 0 a 2000 RPM, se obtiene la siguiente respuesta subamortiguada.

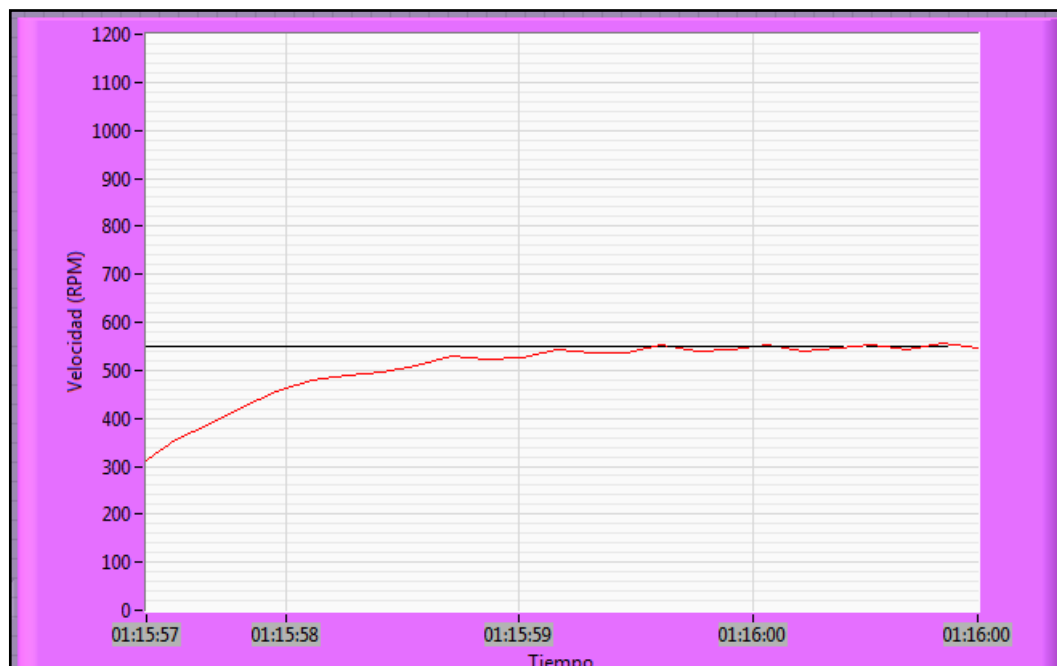
Figura 64. Velocidad vs tiempo



Fuente: Autor

Por otro lado, reduciendo $K_c = 0.0005$ y estimulando el sistema con un escalón de 0 a 2000 RPM, se obtiene la siguiente respuesta sobre amortiguada.

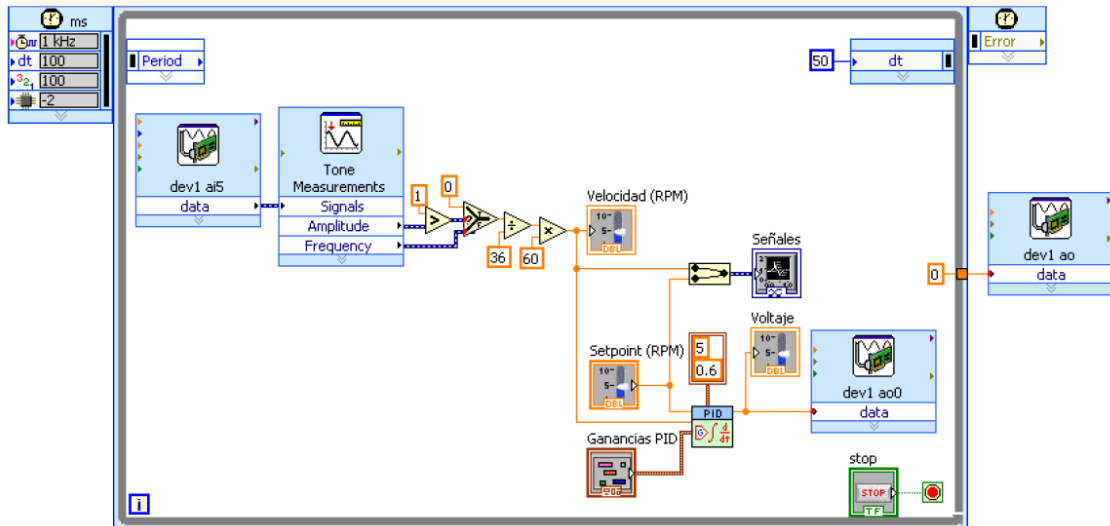
Figura 65. Velocidad vs tiempo



Fuente: Autor

4.) Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.

Figura 66. Diagrama de bloques de Control de velocidad PID



Fuente: Autor

- a) En el diagrama de bloques puede observarse el icono de PID, el cual como entradas se encuentran el Setpoint, la variable del proceso Velocidad, y las Ganancias PID.

Además se especifica el rango de salida. Puesto que el sistema presentaba una discontinuidad en 0.5 en la cual la velocidad aumentaba en forma de escalón, se ha tomado el rango mínimo de salida como 0.6 V. La salida es el voltaje, el cual se envía a la salida analógica de la tarjeta DAQ que es la que alimenta al Motor DC.

5.) Cerrar el programa sin hacer cambios.

4.2.3 Practica 3

Tema: Control de posición

Objetivo: Realizar el control de posición de un motor

Marco teórico.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

Equipos y materiales:

- Entrenador de Planta de Control EPC
- Fuente de poder AC/DC de 12V, 1200ma
- Tarjeta de adquisición de datos genérica de National Instruments
- Destornillador pequeño
- Computador con software LabVIEW instalado.

Procedimiento:

En esta práctica se utiliza un control numérico para especificar la posición angular a la que debe apuntar el disco del Stepper. Dada las especificaciones de este equipo, la posición final tendrá una precisión de 7.5° debido a la resolución del paso.

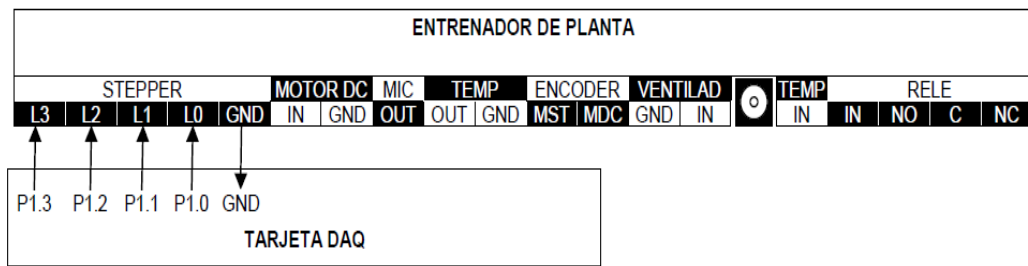
1.) Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:

- a) Conectar las líneas L0, L1, L2 y L3 del Stepper en el EPC a las líneas P1.0, P1.1, P1.2, y P1.3 de la tarjeta DAQ respectivamente. Recordar que si en este punto una o más líneas del Stepper se encienden indicaran que las bobinas están activadas,

provocando calentamiento y posibles daños al equipo si esta situación se mantiene durante algunos minutos.

- b) Conectar la referencia GND de la tarjeta DAQ a la referencia GND del EPC. Todas las referencias GND de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB- 6009 y similares); igualmente, todas las referencias GND del EPC están conectadas internamente. En este ejemplo se utiliza el GND de la sección de temperatura.
- c) Conectar la fuente de poder del EPC.

Figura 67. Conexión de EPC a la tarjeta DAQ



Fuente: Autor

- 2.) Abrir el programa control posición.vi. El panel frontal presenta los siguientes objetos.

Figura 68. Panel frontal de el programa control posición



Fuente: Autor

- 3) Correr el programa.

- a) Notar la posición actual del Stepper. Si se desea se puede remover la tapa de acrílico transparente para colocar manualmente el disco en una posición referencial clara, por ejemplo apuntando al Encoder.
- b) Seleccionar un Tiempo Entre Pasos de 100 ms.
- c) Introducir un valor de Posición Deseada de 180° e inmediatamente notar el movimiento del disco del Stepper y del indicador numérico Posición Actual. Luego de cada paso el programa esperara 100 ms antes de dar el siguiente. También puede notarse la secuencia de encendido de las líneas observando los LEDs de Líneas de Stepper en la tarjeta electrónica del EPC.
- d) Utilizar el desplazador del control tipo Slide Posición Deseada para cambiar la posición utilizando el ratón. Notar el movimiento del disco del Stepper, así como del indicador Posición Actual, y el encendido de los LEDs de Líneas del Stepper.
- e) Cambiar el Tiempo Entre Pasos a 10 ms y repetir los pasos *c* y *d*. Introducir diferentes valores en Posición Deseada, como por ejemplo un valor de 3600° que equivale a 10 revoluciones completas. Comprobar la precisión del movimiento.
- f) Cambiar el Tiempo Entre Pasos a 0 ms y repetir los pasos *c* y *d*. Introducir nuevamente diferentes valores en Posición Deseada, como por ejemplo un valor de 3600° que equivale a 10 revoluciones completas. Comprobar la precisión del movimiento. Notar como eventualmente el Stepper puede saltarse pasos debido a que el programa corre más rápido de lo que el Stepper puede girar.

4.) Cerrar el programa sin guardar cambios.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El equipo seleccionado es el EPC, elegido por acoplarse a los requerimientos, necesidades y facilidades previstas para el desarrollo de la tesis, para la adquisición de datos se utilizó la tarjeta DAQ brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio.

El software que se escogido para que el usuario visualice los datos de temperatura, velocidad y posición es LabVIEW, por ser un entorno de programación gráfica usado en universidades en todo el mundo para ofrecer aprendizaje práctico, para mejorar las aplicaciones de investigación y para impulsar el desarrollo de la próxima generación de innovadores.

El control PID nos permite obtener una variable de proceso constante retroalimentándose de los errores por el entorno y el comportamiento normal del fenómeno físico medido.

Se confirmó el excelente funcionamiento del módulo, el mismo que servirá realizar prácticas en el laboratorio de Mecatrónica.

Las guías de prácticas de laboratorio están desarrolladas de forma clara y detallada lo cual hará muy sencillo el desarrollo de las mismas. Además le permitirán familiarizarse con el EPC y lograr un aprendizaje significativo.

5.2 Recomendaciones

Desarrollar los programas desde cero para maximizar el aprendizaje y ampliar las experiencias, conceptos e ideas de nuevas prácticas.

Realizar un experimento previo a la práctica de manera individual. Esto lo harán con la programación en la plataforma de LabVIEW de esta forma el estudiante estará mejor preparado para realizar posteriormente un experimento de laboratorio en grupo y realizar mediciones posteriormente que refuercen su experiencia de aprendizaje.

Las practicas deben ser efectuadas exactamente según las instrucciones, pues de lo contrario las temperaturas generadas podrían dañar el equipo, e incluso provocar quemaduras en la piel si entra en contacto directo con el bombillo Halógeno.

Tener mucho cuidado de no sobrepasar los 70 grados Celsius de temperatura durante más de 2 minutos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] http://www.datalights.com.ec/site2/index.php?option=com_content&view=category&id=37&Itemid=57
- [2] <http://unavdocs.files.wordpress.com/2011/04/algosobrecontrol.pdf>
- [3] http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf
- [4] <http://www.ni.com/labview/esa/>
- [5] <http://www.ni.com/labview/applications/esa/>
- [6] <http://www.webelectronica.com.ar/news24/nota01.htm>
- [7] <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
- [8] <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/lecciones/cap3lecc2.htm>
- [9] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- [10] <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/lecciones/cap3lecc4.htm>
- [11] http://hgr.tripod.com/adquisicion_datos.html
- [12] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203964>
- [13] <http://bc.inter.edu/facultad/arincon/Introduccion%20al%20Control%20Automatico.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. México: Alfaomega, 1998.

HARO, Marco. Introducción a la Instrumentación. Ecuador: ESPOCH, 2000 (doc.).

KATSUHIKO, Ogata. Ingeniería de Control Moderna. Madrid: Pearson Educación, S:A
2003.

LAJARA, José. LabVIEW Entorno Gráfico de Programación. México: Alfaomega,
2007.

LIKOGRAFÍA

LABVIEW

<http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

20/08/2011

<http://www.webelectronica.com.ar/news24/nota01.htm>

25/08/2011

<http://www.ni.com/labview/esa/>

25/08/2011

<http://www.ni.com/gettingstarted/installsoftware/esa/dataacquisition.htm>

4/09/2011

SENSOR

<http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

1/10/2011

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/lecciones/cap3lecc4.htm>

2/10/2011

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/lecciones/cap3lecc2.htm>

2/10/2011

SISTEMAS DE CONTROL

http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf

22 /10/2011

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>

2/12/2011

http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1362/ISAD_Tema1.pdf

2 /12/2011

<http://unavdocs.files.wordpress.com/2011/04/algosobrecontrol.pdf>

ADQUISICIÓN Y MONITOREO DE DATOS

<http://www.ni.com/dataacquisition/esa/whatis.htm>

25/09/2011

http://hgr.tripod.com/adquisicion_datos.html

25/09/2011

CONTROL Y MONITOREO DE DATOS

http://www.sapiensman.com/control_automatico/

6/10/2011

<http://bc.inter.edu/facultad/arincon/Introduccion%20al%20Control%20Automatico.pdf>

6/10/2011

CONTROL PID

http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C07.pdf

4/12/2011

ANEXOS

ANEXO A. Instalación del software LabVIEW

1. Inicie Windows como administrador o como un usuario con privilegios de administrador.
2. Deshabilite cualquier programa de detección automática de virus antes de instalar. Algunos programas de detección de virus pueden interferir con la instalación.
3. Inserte el Disco 1 de los DVDs de la Plataforma de LabVIEW. Si tiene deshabilitada la ejecución automática o descargó LabVIEW, busque en la unidad del DVD o la ubicación de descarga y haga doble clic en setup.exe. Tendrá que esperar un momento mientras que el instalador se carga. Haga clic en Next para comenzar.

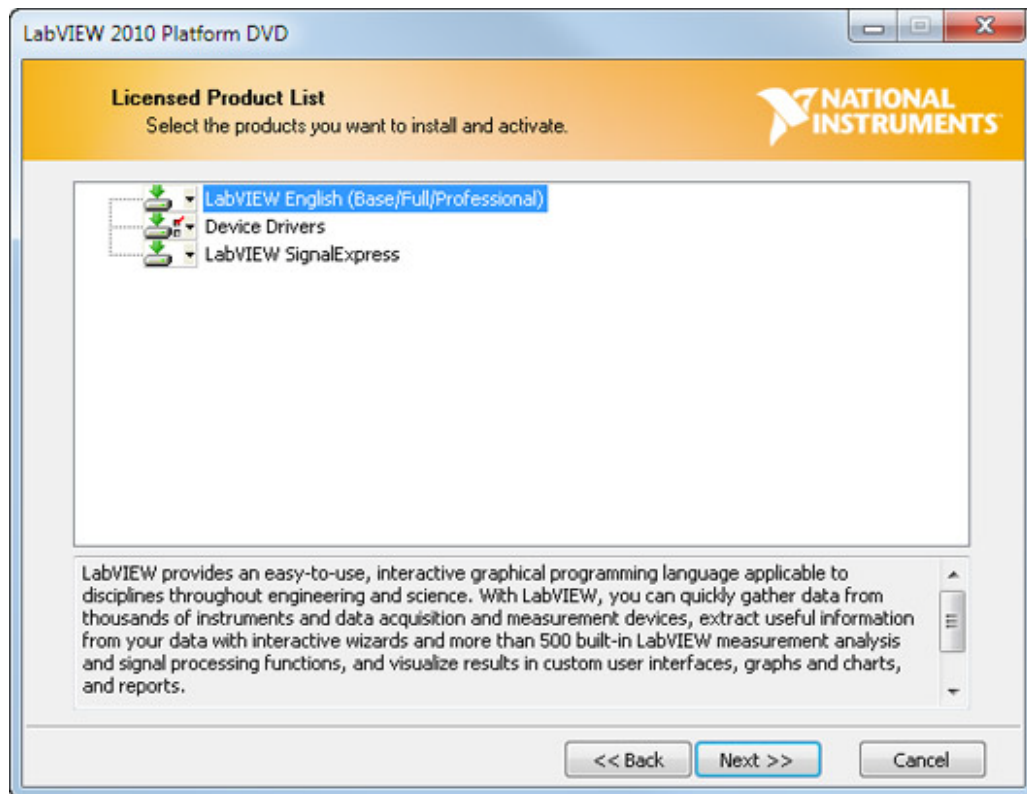


Instalador del DVD de la Plataforma de LabVIEW

4. Seleccione si desea introducir los números de serie para instalar productos que ha comprado o si desea instalar el software en modo de evaluación. Si escoge introducir los números de serie, el instalador puede seleccionar el software adecuado para usted. Si escoge evaluar los productos, proceda al Paso 7.

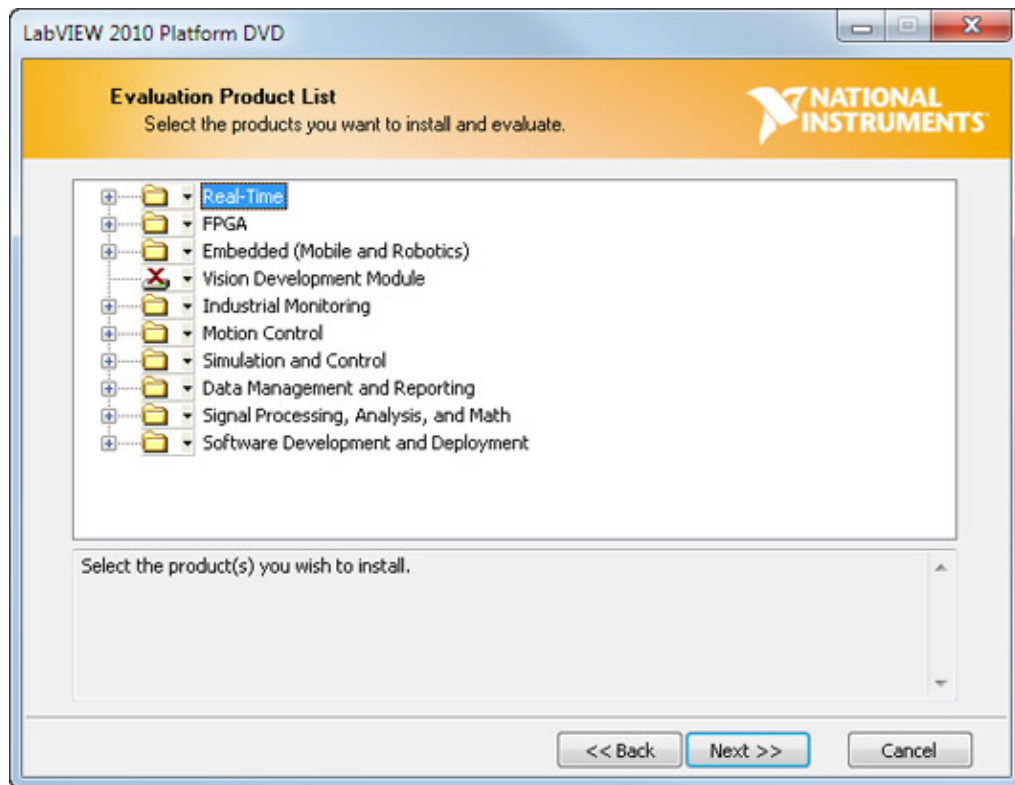
Proporcione los números de serie de los productos comprados que desea instalar.

6. Vea la Lista de Productos Autorizados para el entorno de LabVIEW, módulos y juegos de herramientas de los que tiene licencias válidas, además de controladores de dispositivos. Todos serán seleccionados de forma predeterminada, pero puede elegir no instalar algún producto en la lista si así lo desea.



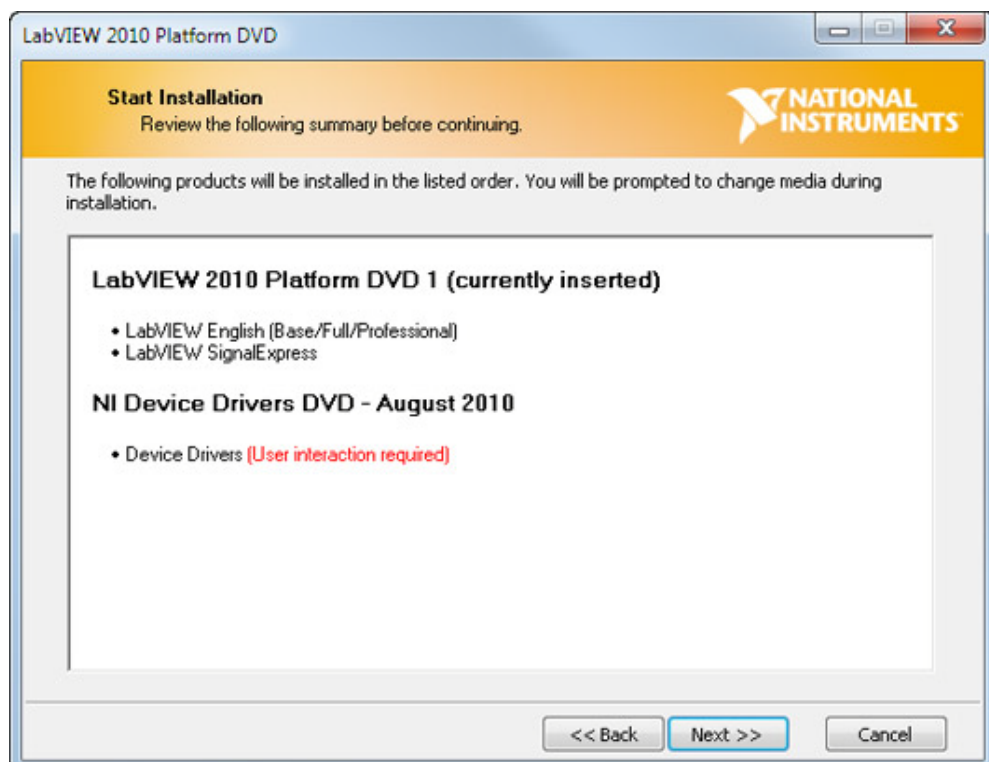
Lista de Productos Autorizados del DVD de la Plataforma de LabVIEW

7. Revise la Lista de Productos para Evaluación y seleccione cualquier producto adicional (módulos y juegos de herramientas) que desea instalar y evaluar. Para cada producto, debe seleccionar “Instalar” para disminuir la interacción del usuario o “Instalación Personalizada” para configurar su instalación más adelante.
8. El instalador verifica actualizaciones relevantes de los productos que está a punto de instalar. Puede descargar las actualizaciones antes de continuar con la instalación.
9. Escoja el directorio de instalación para software de National Instruments.
10. Acepte los Acuerdos de Licencia y haga clic en Next.
11. Proporcione su nombre completo y empresa. Esta información será usada para procesar el registro de su software.



Lista de Productos para Evaluación del DVD de la Plataforma de LabVIEW

12. Revise el resumen antes de continuar para asegurarse que todos sus productos serán instalados. Cualquier producto enlistado con (se requiere interacción del usuario) requiere interacción del usuario para finalizar.



Resumen de la Instalación del DVD de la Plataforma de LabVIEW

13. Siga las instrucciones en la pantalla para terminar de instalar y activar LabVIEW y cualquier módulo y juego de herramienta que haya seleccionado.

Al final del proceso de la instalación de LabVIEW, si escoge instalar los controladores de dispositivos desde la lista de productos, se le pedirá que inserte el DVD de Controladores de dispositivos.

De lo contrario, se le pedirá activar su software. Puede activar ahora o esperar hasta que haya terminado de instalar el resto de su software

Activar la Licencia de LabVIEW

Para finalizar la instalación, debe activar su software. Puede activar licencias que ha comprado para LabVIEW, módulos y juegos de herramientas durante la instalación. Si no activa una licencia válida para LabVIEW o cualquier módulo o juego de herramienta que instale, el producto sin licencia opera en modo de evaluación.

Después de instalar el producto, la evaluación comienza la primera vez que inicia el producto y dura 30 días consecutivos.

Cuando el periodo de evaluación se vence, debe activar una licencia válida para poder continuar usando el producto.

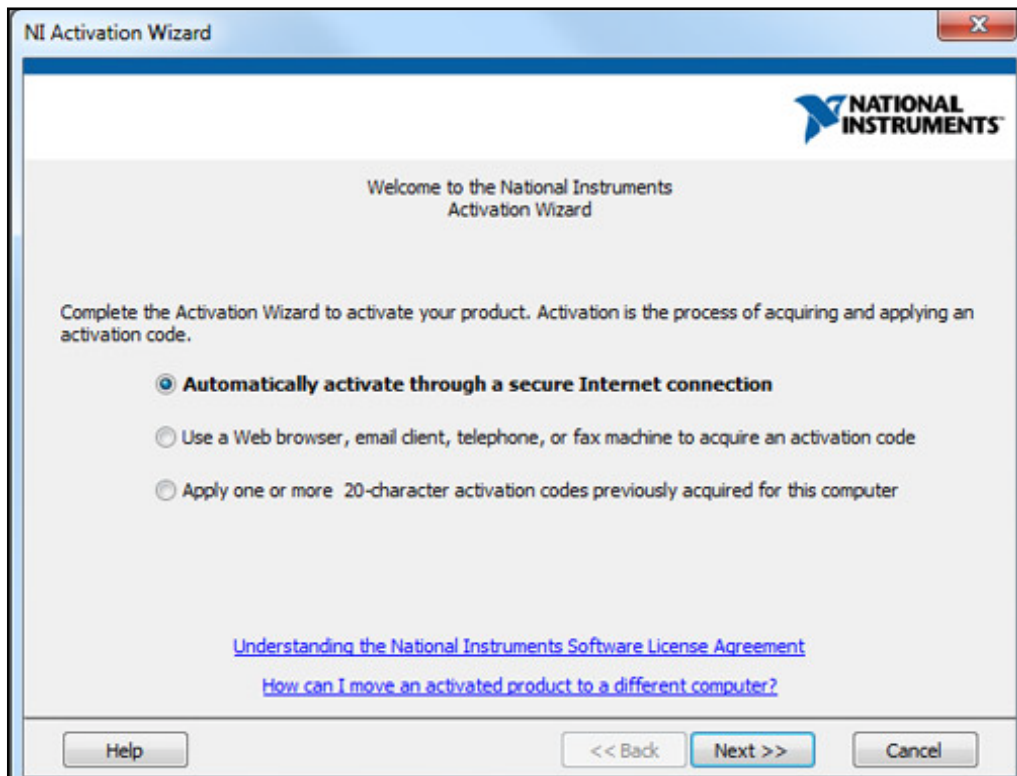
Para activar la licencia del producto, use el número de serie que recibió en "Certificate of Ownership" incluido en el paquete del software.

Si su paquete de software no incluye un "Certificate of Ownership", puede encontrar el número de serie en el empaque o en la etiqueta de envío.

Si ha comprado la versión del producto que desea activar, también puede usar los números de serie de una versión anterior, para activarlo.

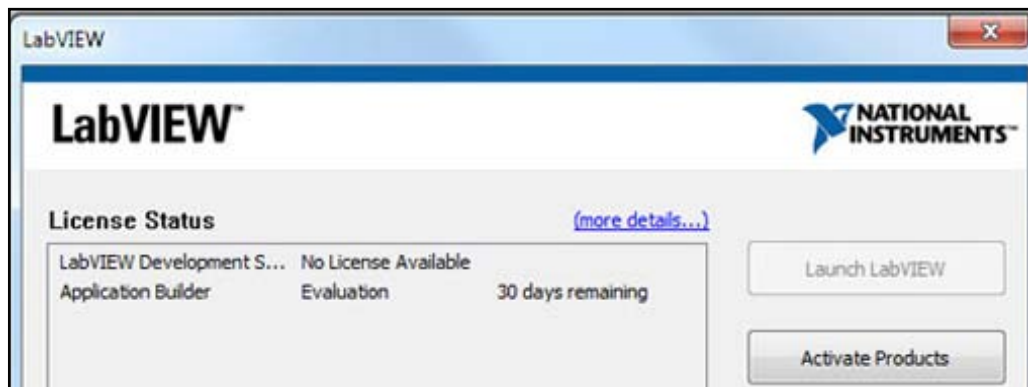
Puede activar la licencia de LabVIEW de cualquiera de las siguientes maneras:

Después que la instalación ha terminado, proporcione el número de serie cuando se le pida y termine con el proceso de instalación y activación.



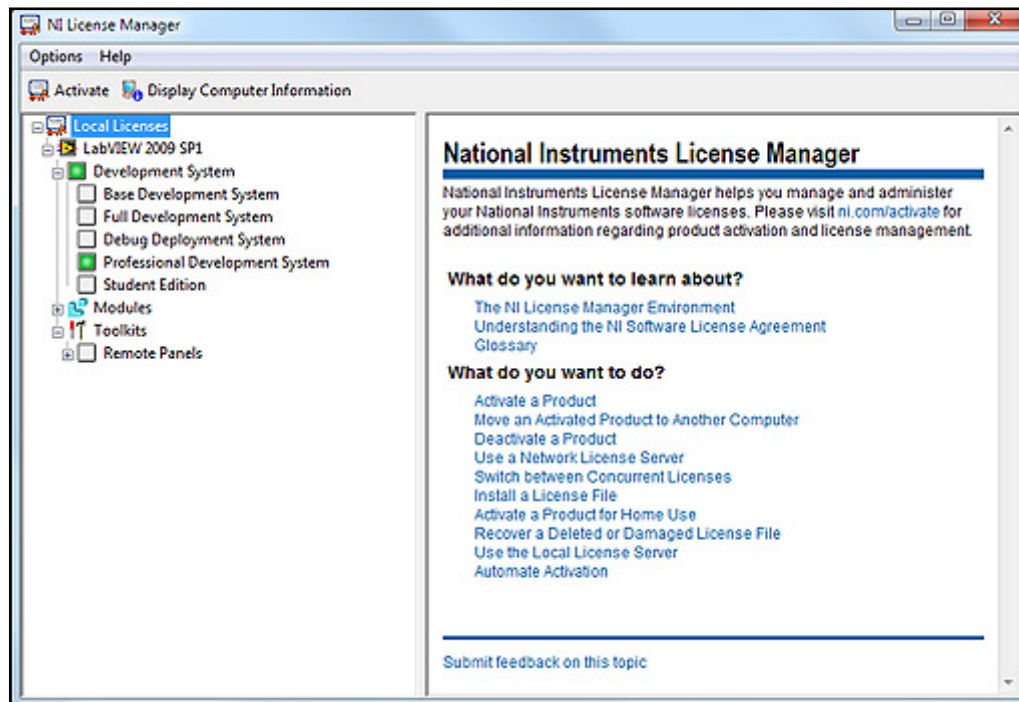
Asistente de Activación

Después de iniciar LabVIEW en modo de evaluación, haga clic en el botón "Activate Products" en la ventana de diálogo de LabVIEW.



Iniciar LabVIEW en Modo de Evaluación

Mientras LabVIEW se ejecuta en modo de evaluación, seleccione Help»Activate LabVIEW Components. O seleccione Start»All Programs»National Instruments»NI License Manager para iniciar el NI License Manager.



NI License Manager

Si no activa LabVIEW, módulos o juegos de herramientas durante la instalación, LabVIEW le pide activar cuando lo inicia. Después de activar las licencias de todos los productos de LabVIEW que ha instalado, no verá más esta solicitud.

ANEXO B. Especificaciones Mínimas Del Sistema DAQ

Características Mínimas del Sistema de Adquisición de Datos

(*Tomadas de la hoja de especificaciones de la tarjeta DAQ USB-6009 de National Instruments).

Digital I/O	
Number of channels.....	12 total
8 (P0.<0..7>)	
4 (P1.<0..3>)	
Direction control.....	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type	
USB-6008.....	Open-drain
USB-6009.....	Each channel individually programmable as push-pull or open-drain.
Compatibility	CMOS, TTL, LVTTTL
Internal pull-up resistor.....	4.7 k $\frac{1}{2}$ to +5 V
Power-on state	Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range	-0.5 to +5.8 V

Counter	
Number of counters	1
Resolution.....	32 bits
Counter measurements.....	Edge counting (falling edge)
Pull-up Resistor	4.7 k $\frac{1}{2}$ to 5 V
Maximum input frequency	5 MHz
Minimum high pulse width	100 ns
Minimum low pulse width	100 ns
Input high voltage	2.0 V
Input low voltage	0.8 V

Analog Input	
Input range, single-ended	±10 V
ADC Resolution (bits).....	14 bits (differential)
Input range, differential	±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage	±10 V
Overvoltage protection.....	±35 V
FIFO buffer size.....	512 B
Timing resolution.....	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy.....	100 ppm of actual sample rate
Input Impedance.....	144 k $\frac{1}{2}$
Trigger source.....	Software or external digital trigger
System noise	0.3 LSB _{rms} (±10 V range)

Analog Output	
Absolute accuracy (no load).....	7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels.....	2
Type of DAC.....	Successive approximation
DAC resolution	12 bits
Maximum update rate.....	150 Hz, software-timed
Output range	0 to +5 V
Output impedance	50 $\frac{1}{2}$
Output current drive	5 mA
Power-on state	0 V
Slew rate	1 V/ μ s
Short-circuit current	50 mA